



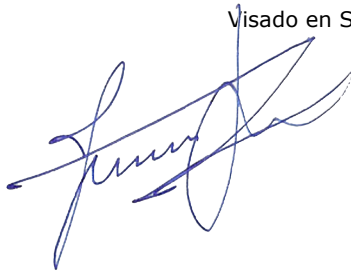
***Técnicas de análisis digital de
imágenes para la documentación
integral de la pintura rupestre***

Memoria que presenta
Miguel Ángel Rogerio Candelera
para optar al título de Doctor en Historia

10 de noviembre de 2010

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA DOCUMENTACIÓN INTEGRAL DE LA PINTURA RUPESTRE

Visado en Sevilla, a 10 de noviembre de 2010



LOS DIRECTORES

EL TUTOR

Dr. D. Juan Manuel Vicent García
Investigador Científico
Instituto de Historia, CSIC

Dr. D. Cesáreo Sáiz Jiménez
Profesor de Investigación
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC

Dr. D. Leonardo García Sanjuán
Profesor Titular
Departamento de Prehistoria y Arqueología
Universidad de Sevilla

DOCTOR D. LUIS CLEMENTE SALAS DIRECTOR DEL INSTITUTO DE
RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA DE SEVILLA DEL CONSEJO
SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Certifica: Que la presente Memoria de Investigación titulada "Técnicas de análisis digital de imágenes para la documentación integral de la pintura rupestre", presentada por D. Miguel Ángel Rogerio Candelera para optar al grado de Doctor en Historia ha sido realizada en el Departamento de Geoecología, Biogeoquímica y Microbiología Ambiental, bajo la dirección del Dr. D. Juan Manuel Vicent García y del Prof. Dr. D. Cesáreo Sáiz Jiménez, reuniendo todas las condiciones exigidas a los trabajos de Tesis Doctorales.

En Sevilla, a 10 de noviembre de 2010

Índice General

	<i>Página</i>
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	xxiii
Preámbulo	xxix
1. Introducción	1
1.1 Arte Rupestre de la Península Ibérica	2
1.1.1. Una breve caracterización de los diferentes horizontes rupestres de la Península Ibérica	4
1.1.1.a. <i>Arte Paleolítico</i>	4
1.1.1.b. <i>Arte Levantino</i>	8
1.1.1.c. <i>Arte Macroesquemático</i>	12
1.1.1.d. <i>Arte Esquemático</i>	13
1.1.2. Una incursión, no exenta de peligros, en la cuestión cronológica	18
1.1.3. Distribución territorial del Arte Rupestre de la Península Ibérica	35
1.1.4. Sobre la identificación de aglutinantes en las pinturas rupestres	40
1.2. Factores de deterioro del Arte Rupestre	45
1.3. Documentación integral del Arte Rupestre	54
1.3.1. Breve revisión de los métodos utilizados tradicionalmente para documentar el Arte Rupestre	58
1.3.1.a. <i>Los croquis o dibujos a mano alzada</i>	62
1.3.1.b. <i>El calco directo</i>	65
1.3.1.c. <i>Calcos por frotación</i>	69
1.3.1.d. <i>Obtención de moldes</i>	72
1.3.1.e. <i>Fotografía analógica</i>	74
1.3.1.f. <i>Fotogrametría analógica</i>	79
1.3.2. Documentación integral del Arte Rupestre	81
2. Arte Rupestre y Biodeterioro	85
2.1. Paneles rupestres situados al aire libre o en abrigos someros	93
2.2. Arte Rupestre localizado en cuevas	103
3. Metodología	115
3.1. Técnicas	117
3.1.1. Conceptos básicos	118
3.1.2. Software	144
3.2. Algunos problemas y soluciones técnicas	149
3.2.1. Estrategias de elaboración de calcos digitales de pinturas rupestres	150
3.2.1.a. <i>Técnicas de elaboración de calcos basadas en el retoque fotográfico</i>	150

3.2.1.b. <i>“Calcos automáticos” o calcos elaborados mediante un enfoque analítico</i>	155
3.2.1.b.1. Calcos digitales elaborados mediante estrategias de clasificación	156
3.2.1.b.2. Calcos elaborados a partir de técnicas de descorrelación de imágenes	157
3.2.2. Otras posibilidades que se extraen del uso de técnicas de análisis de imagen	160
3.2.2.a. <i>Mejoras en la visualización de paneles y visualización de elementos no detectados utilizando métodos convencionales</i>	160
3.2.2.b. <i>Diferenciación de diacronías en la realización de los paneles</i>	162
3.2.2.b.1. Asignación de figuras concretas a fases o momentos de realización de los paneles	162
3.2.2.b.2. Detección de repintes	164
3.2.2.c. <i>Diferenciación de cubiertas implicadas en la conservación</i>	168
3.2.2.d. <i>Monitorización a lo largo del tiempo</i>	170
3.2.3. Un protocolo básico para la utilización del análisis de imagen en tareas de documentación de Arte Rupestre	172
4. Casos de estudio	175
4.1. Análisis de imagen del panel de la Sala de La Hoya, cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria)	179
4.1.1. Introducción	179
4.1.2. Material y Métodos	181
4.1.2.a. <i>Objeto de estudio</i>	181
4.1.2.b. <i>Análisis de imagen</i>	186
4.1.3. Resultados	190
4.1.3.a. <i>El cáprido de la izquierda del panel</i>	190
4.1.3.b. <i>La cierva central</i>	193
4.1.3.c. <i>Las cabras a la derecha del panel</i>	198
4.1.4. Discusión y Conclusiones	203
4.2. Monitorización de cubiertas bióticas en la cueva de Altamira	207
4.2.1. Introducción	207
4.2.2. Material y Métodos	212
4.2.2.a. <i>Elaboración de series temporales</i>	212
4.2.2.b. <i>Detección y diferenciación de colonizaciones bacterianas</i>	215
4.2.2.c. <i>Delimitación de intervalos de valores de píxel relevantes y medición de áreas ocupadas por estos</i>	216
4.2.3. Resultados	217
4.2.3.a. <i>Punto de control 1</i>	217
4.2.3.b. <i>Punto de control 3</i>	222
4.2.3.c. <i>Punto de control 5</i>	226
4.2.3.d. <i>Punto de control 6</i>	230

4.2.4. Utilización de imágenes de visible y de fluorescencia inducida por ultravioleta para la detección y cuantificación de las manchas blancas y las grises	234
4.2.5. Conclusiones	245
4.3. Mejoras en la visualización de las representaciones rupestres del abrigo Muriecho L (Colungo, Huesca)	249
4.3.1. Introducción	249
4.3.2. Metodología	257
4.3.3. Resultados	259
4.3.4. Discusión	278
4.3.5. Conclusiones	281
4.4. Diferenciación de fases pictóricas en La Coquinera II (Obón, Teruel)	283
4.4.1. Introducción	283
4.4.2. Material y Métodos	287
4.4.2.a. <i>Sitio de estudio</i>	287
4.4.2.b. <i>Análisis de imagen</i>	290
4.4.2.c. <i>Caracterización de pigmentos</i>	291
4.4.3. Resultados y Discusión	292
4.4.4. Conclusiones	305
4.5. Calcos digitales del núcleo de arte rupestre de Faia (Cidadelhe, Portugal)	307
4.5.1. Introducción	307
4.5.2. Material y Métodos	309
4.5.2.a. <i>Lugar de muestreo</i>	309
4.5.2.b. <i>Análisis de imagen</i>	314
4.5.3. Resultados	315
4.5.3.a. <i>Grupo de los bóvidos</i>	315
4.5.3.b. <i>Figura antropomorfa</i>	321
4.5.4. Discusión	326
4.5.5. Conclusiones	329
5. Conclusiones	331
6. Bibliografía	335

Índice de Figuras

Figuras	Página
Figura 1.1. Bisonte de la Sala de Polícromos, Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), ejemplo paradigmático de lo que se entiende popularmente por Arte Paleolítico. Fotografía del autor.	7
Figura 1.2. Arquero levantino de la Cova dels Cavalls, en el Barranco de la Valltorta (Tirig, Castellón). Fotografía del autor.	10
Figura 1.3. Motivos Macroesquemáticos del Abric V de Pla de Petracos (Castell de Castells, Alicante). Según Hernández Perez (2006).	13
Figura 1.4. Tipología de la pintura Esquemática según Bécares (1983).	15
Figura 1.5. Diferentes soluciones a la cronología del arte postpaleolítico ofrecidas durante el simposio de Wartenstein (1960). Según Ripoll Perelló (2001).	27
Figura 1.6. Posición cronológica de los distintos horizontes artísticos en función de paralelos y superposiciones. ALG = Arte Lineal-Geométrico; AEA = Arte Esquemático Antiguo; AM = Arte Macroesquemático; AL = Arte Levantino; AE = Arte Esquemático.	30
Figura 1.7. Mapa de distribución de los yacimientos con Arte Rupestre Paleolítico en la Península Ibérica. Fuente: Fortea (2005).	36
Figura 1.8. Extensión de la distribución territorial del horizonte artístico Levantino en la Península Ibérica. Fuente: a partir de Martínez García (2002).	37
Figura 1.9. Área de distribución de las manifestaciones rupestres Macroesquemáticas. Fuente: a partir de Martínez García (2002).	38
Figura 1.10. Zonas en las que aparece Arte Rupestre Esquemático en la Península. Fuente: a partir de Martínez García (2002).	39

Figura 1.11. Dendrograma que muestra la similitud entre los pigmentos de distintos abrigos de Aragón en función de elementos correlacionados con el Fe (As, Co, Mo, Sb, Ti, Zr), normalizados en función de su contenido con respecto al Fe. (BAR II: Barfaluy, ENG: Coveta de l'Engardaixo, GAL I: Gallinero I, GAL II: Gallinero II, GAL III: Gallinero III, MALA: Tozal de Mallata, MALB: Mallata B, MALC: Mallata C, RAES: La Raja E, REG: Cueva de Regacens) Fuente: Resano <i>et alii</i> 2007.	41
Figura 1.12. Las representaciones parietales pueden describirse como uno más de los elementos abióticos del sistema natural en el que se insertan.	47
Figura 1.13. Fotografía del impacto de una gota de lluvia sobre un suelo. El choque produce la dispersión de fragmentos y agua alrededor de la zona de impacto. Fuente: Derpsch (2005).	51
Figura 1.14. Calco de un “arquero” de las cuevas de La Araña según Benítez Mellado y Hernández Pacheco (HERNÁNDEZ PACHECO 1924). Nótese la importancia de la reconstrucción efectuada a partir de unos restos bastante exiguos. Fuente: Moneva Montero (1993).	64
Figura 1.15. Arañazos producidos en un ortostato del dolmen de Mota Grande, Vereá (Ourense) debidos a la realización de un calco por procedimientos directos. Fuente: Carrera Ramírez (2006).	67
Figura 1.16. Discrepancias entre calcos obtenidos por procedimientos directos (izquierda) y realizados a partir de fotografías del motivo pictórico (derecha). Fuente: Schoonraad (1968).	68
Figura 1.17. Petroglifos rellenos de color rojo para una mejor visualización. Santa María de Oia (Pontevedra). Fuente: Novoa Álvarez (1995).	71
Figura 1.18. Utilización de la fotogrametría analógica para la restitución y el registro de motivos rupestres paleolíticos en la Sala de los Toros de Lascaux. Fuente: Aujoulat (1987).	80
Figura 1.19. El contacto directo con las manifestaciones rupestres,	83

como en este caso, en el que se coloca una mano sobre los motivos rupestres para la comparación de tamaños puede tener como efectos indeseados, entre otros, la transferencia de sustancias o la difuminación de los motivos por erosión mecánica además de la contaminación microbiana por bacterias aportadas por la piel humana. Fuente: González y Alvarado (1993).

Figura 2.1. Plantas vasculares creciendo en el interior de una grieta de una escultura de terracota de la Puerta del Perdón de la Catedral de Sevilla. Fotografía de Cesáreo Sáiz Jiménez. 87

Figura 2.2. Manchas de origen bacteriano sobre un motivo zoomorfo de la Cueva de El Pendo. Fotografía de Ramón Montes Barquín. 88

Figura 2.3. Disolución de superficies pétreas por cianobacterias epilíticas. Izquierda, aspecto de una de las fachadas de la pirámide Cestia (Roma). En tonos oscuros se aprecia la extensión de un *biofilm* epilítico. Derecha, imagen de microscopía electrónica de barrido que muestra la disolución de la caliza por este *biofilm*. Fotografías de Cesáreo Sáiz Jiménez. 89

Figura 2.4. Concreciones de aragonito bioinducidas sobre una figura del panel de la Sala de La Hoya de la cueva de Altamira. Fotografía del autor. 89

Figura 2.5. A. Esquema general de distribución de la microflora de las tumbas de la Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla). B. Distribución de la microflora de la Tumba del Elefante de la Necrópolis de Carmona en relación con la intensidad lumínica y la humedad relativa. A partir de Ariño (1996). 91

Figura 2.6. Acumulación de excrementos de ginefa en una de las oquedades contiguas a la Cova dels Cavalls, en el barranco de la Valltorta (Tirig, Castellón). La acumulación de materia orgánica facilita el enriquecimiento del suelo, permitiendo la germinación y desarrollo de plantas vasculares. Fotografía del autor. 95

Figura 2.7. Clasificación de los nichos ecológicos de los organismos litobióticos. Según Golubic *et alii* (1981). 97

Figura 2.8. Colonización endolítica por cianobacterias en el abrigo de Muriecho L (Colungo, Huesca). Fotografía del autor.	98
Figura 2.9. Panel rupestre al aire libre colonizado por varias especies de líquenes. Núcleo rupestre de Faia (Cidadelhe, Portugal). Fotografía de Pedro Guimarães.	101
Figura 2.10. Estructura y composición de un <i>biofilm</i> estratificado de la cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba). Izquierda: micrografía confocal de dos canales elaborada por el método SFP (Stimulated Fluorescence Projection) a partir de 69 secciones ópticas x-y (intervalo de z de 0,3 μ m). Derecha, proyección 3D de la composición del <i>biofilm</i> a 7 y 9 μ m. En rojo: autofluorescencia de los pigmentos; en verde: EPS; en azul: ácidos nucleicos. Escala: 10 μ m. Fuente: Roldán y Hernández-Mariné (2009).	106
Figura 2.11. Tipos básicos de <i>biofilms</i> fototróficos presentes en cuevas. Según Roldán y Hernández-Mariné (2009).	107
Figura 2.12. Esquema de las relaciones tróficas detectadas en la cueva de Lascaux entre especies fúngicas, <i>Folsomia candida</i> (colémbolo) y dipluros. <i>F. candida</i> , procedente del bosque situado sobre la cavidad encuentra un nicho favorable en el interior alimentándose inicialmente de <i>Fusarium</i> y otras especies fúngicas. Sus heces retroalimentan el desarrollo de esporas fúngicas de diversos géneros, como <i>Scolecobasidium</i> produciéndose las características manchas negras, mezcla de hongos melanizados y <i>pellets</i> fecales. Los dipluros actúan como depredadores de los colémbolos.	112
Figura 3.1. Esquema de fisuración en el abrigo de Atlanterra (Tarifa, Cádiz). El esquema representa las direcciones generales de fisuración que permite la infiltración de agua y anticipa futuras zonas de rotura. Fuente: Hoyos <i>et alii</i> (1997).	118
Figura 3.2. Esquema del espectro electromagnético. Fuente: Horst (2005) [http://www.zeitmaschinisten.com/svg/Spektrum.svg].	120
Figura 3.3. Esquema de imagen multibanda, con n planos definidos por sus coordenadas cartesianas y su valor de	121

reflectividad medido en distintos intervalos de longitud de onda.

Figura 3.4. Imagen fotorrestituida digitalmente mediante comparación con una imagen de referencia. Elaboración propia a partir de fotografía digital de Pedro López Cañas. 123

Figura 3.5. Homogeneización radiométrica de una serie temporal de imágenes correspondientes a una de las manchas producidas por una cepa de *Streptomyces sp.* en las paredes del Mausoleo Circular de la Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla). 123

Figura 3.6. Ejemplos de matriz de filtrado. Izquierda: filtro de paso bajo. El resultado es el promedio de los 9 píxeles que componen la matriz. Derecha: filtro de paso alto. La ponderación del valor central refuerza el contraste entre el píxel central y los vecinos. 124

Figura 3.7. Resultado de la suma de imágenes producto de la aplicación de dos filtros de paso alto de tipo direccional (W y NW) al panel rupestre del abrigo de La Coquinera II (Obón, Teruel). La combinación de estos dos filtros permite documentar los arañazos que han destruido parte del panel. 125

Figura 3.8. Ejemplos de matrices direccionales de filtrado. A. Norte; B. Sur; C. Este; D. Oeste. 126

Figura 3.9. Diversas posibilidades para mejorar el contraste de una imagen digital mediante técnicas de expansión del histograma. C. Expansión lineal; D. Ecuilización del histograma; E. Expansión especial. Fuente: Lillesand y Kiefer (2000). 128

Figura 3.10. Diagrama de dispersión de los valores de los píxeles de dos bandas de una misma imagen e indicación del sistema de referencia basado en sus Componentes Principales. x_1 , valores correspondientes a la banda 1; x_2 , valores correspondientes a la banda 2; y_1 , y_2 , nuevo sistema de ejes coordenados definidos por las Componentes Principales. Fuente: Sabins (1987). 130

Figura 3.11. Bandas obtenidas al aplicar análisis de Componentes Principales a una imagen digital de un panel levantino del Barranco de las Olivanas (Tormón, Teruel). A. Imagen convencional RGB. B. Banda correspondiente a la primera 131

Componente Principal. C. Banda correspondiente a la segunda Componente Principal. D. Banda correspondiente a la tercera Componente Principal.

Figura 3.12. Diferentes posibilidades para la composición de una imagen en falso color a partir de las Componentes Principales de una imagen tribanda (RGB). (A) CP1/CP2/CP3. (B) CP3/CP2/CP1. (C) CP1/CP3/CP2. (D) CP2/CP1/CP3. (E) CP2/CP3/CP1. (F) CP3/CP1/CP2. Elaboración propia a partir de diapositiva de Cesáreo Sáiz Jiménez. 133

Figura 3.13. Izquierda: Signatura espectral del carbón vegetal. Derecha: Signatura espectral de la pirolusita (MnO_2). Ambos compuestos han sido utilizados ampliamente como pigmentos negros para elaborar paneles rupestres, sin embargo, sus características ópticas son muy diferentes, por lo que pueden ser diferenciados mediante análisis multiespectral de imagen, incluso en el intervalo visible de longitudes de onda (área enmarcada en rojo). Elaboración propia a partir de la librería espectral del *United States Geological Survey*, splib06a. [http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html]. 135

Figura 3.14. Arriba: Imagen parcial del panel D de la Cueva del Arco (Benalup-Casas Viejas, Cádiz). Abajo: Imagen en falso color (AD1[3], AD1[3], ED1[3]) elaborada a partir de los resultados de la aplicación de dos algoritmos diferentes de clasificación supervisada a partir de 20 puntos de control: AD1 (diferencia absoluta entre los valores), y ED1 (distancia euclídea entre los valores). Los píxeles en negro definen la clase no-pintura. Elaboración propia. 137

Figura 3.15. Clasificación no supervisada tipo *K-means* (10 clases, 20 iteraciones) de un cubo de imagen elaborado a partir de las bandas correspondientes a las Componentes Principales de un detalle del panel D de la Cueva del Arco. Arriba: Fotograma original. Abajo: Imagen clasificada. Entre las distintas clases, puede reconocerse el color verde como pintura. 139

Figura 3.16. Calco vectorial de la cierva 31 del Abric II de la Cova dels Cavalls (Barranco de la Valltorta, Tirig, Castellón). Elaboración propia. 143

Figura 3.17. Fotografía y calco digital del motivo 16 del abrigo IX de La Saltadora. La colada estalagmítica impide obtener el calco de la zona central del cérvido. Fuente: Domingo Sanz <i>et alii</i> (2007).	154
Figura 3.18. Izquierda: Pormenor de uno de los paneles rupestres de Grotta dei Cervi (Porto Badisco, Italia). Derecha: Resultado de aplicar a la imagen de la izquierda un algoritmo de clasificación supervisada. Clases: (1) pintura; (2) no pintura. Elaboración propia a partir de diapositiva de Cesáreo Sáiz Jiménez.	157
Figura 3.19. Rasterización de un calco vectorial (dwg) obtenido mediante clasificación supervisada de los motivos pintados de la roca 1 de Faia (Cidadelhe, Portugal).	159
Figura 3.20. Izquierda: Detalle del calco del Panel 1 de Muriecho L, según Baldellou <i>et alii</i> (2000). Derecha: Imagen en falso color a partir de las Componentes Principales minoritarias correspondiente a la misma zona. La flecha señala una figura zoomorfa no incluida en el calco. Elaboración propia.	161
Figura 3.21. Imagen falso color elaborada a partir de las Componentes Principales minoritarias de un cubo de imagen de seis bandas correspondientes al espectro visible de los paneles superpuestos del abrigo de La Coquenera II. Elaboración propia.	163
Figura 3.22. Secuencia de correcciones en la Figura 30 de la Cova dels Cavalls. El ciervo acaba convertido en cierva. Fuente: Domingo Sanz (2005).	166
Figura 3.23. Arriba: Banda correspondiente a la segunda CP de una fotografía digital estándar de la escena de caza de cérvidos de la Cova dels Cavalls. Se refleja en ella la mayor parte de la pintura presente en el panel. Abajo: Banda correspondiente a la tercera CP de la misma fotografía. Pueden apreciarse trazos no recogidos en la segunda CP, informándonos de una composición diferente en la receta pictórica. Elaboración propia.	167
Figura 3.24. Tumba de las Tres Puertas, Necrópolis Romana de Carmona. A. Imagen original. B. Imagen en falso color (CP1, CP2, CP3). Clases: (1) concreciones, (2) pigmento verde, (3) estuco, (4) biofilm fotótrofo. C. Imagen en falso color (CP3, CP2, CP2). Clases:	169

(1) pigmento verde, (2) biofilm fotótrofo, (3) estuco, (4) concreciones. Elaboración propia.

Figura 3.25. Componentes Principales de la figura zoomorfa de la Cueva del Encajero (Quesada, Jaén). La primera CP muestra el equivalente a convertir la imagen original a escala de grises. Las componentes segunda y tercera muestran detalles de la pintura y otros elementos como el desplaketado de algunas áreas y las zonas de circulación del agua de escorrentía. Elaboración propia. 171

Figura 3.26. Evolución del crecimiento de una de las manchas producidas por una cepa de *Streptomyces sp.* entre 1997 y 2005 en el interior del Mausoleo Circular de la Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla). El área colonizada se representa en negro y las zonas no colonizadas en diferentes niveles de gris. A. Estadio inicial (1997); B. Superficie colonizada entre 1997 y 2002; C. Colonización entre 2002 y 2005. Elaboración propia. 172

Figura 3.27. Protocolo general para el trabajo con imágenes de arte rupestre basado en análisis de imagen. 174

Figura 4.1.1. Columna estratigráfica general del interior de la cueva de Altamira. Fuente: Foyo *et alii* (2002). 183

Figura 4.1.2. Modelo 3D de la cueva de Altamira, y detalle de la sala de La Hoya, con la localización de las pinturas. 185

Figura 4.1.3. Serie de fotografías que abarca los diferentes elementos del panel objeto de estudio. Diferente escala. 185

Figura 4.1.4. Calco del panel de la Sala de La Hoya según Breuil y Obermaier (1935) 185

Figura 4.1.5. Proceso de documentación mediante fotografía digital en el dominio del visible de parte del panel de la Sala de La Hoya. Fotografía de Sergio Sánchez Moral. 187

Figura 4.1.6. Imagen de fluorescencia inducida por ultravioleta que destaca las concreciones que cubren la figura de la cabra. Fotografía de Pedro López Cañas. 188

Figura 4.1.7. Imagen en falso color elaborada a partir de las segundas Componentes Principales.	191
Figura 4.1.8. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP minoritarias de visible y fluorescencia inducida por UV.	192
Figura 4.1.9. Calco vectorial de la cabra de la zona izquierda del panel de la Sala de La Hoya.	193
Figura 4.1.10. Imagen clasificada mediante algoritmo <i>K-means</i> , con ocho clases predefinidas y veinte iteraciones. Dos de las clases correspondientes a pigmento se han homogeneizado a rojo para abarcar el máximo de la variabilidad de la clase pigmento, sin embargo gran cantidad de píxeles mal clasificados entran en esta categoría.	195
Figura 4.1.11. Bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales del motivo de la cierva. A. Primera CP. B. Segunda CP. C. Tercera CP.	196
Figura 4.1.12. Imagen en falso color elaborada a partir de las tres bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales.	197
Figura 4.1.13. Delimitación de los intervalos de valores de gris apropiados para la binarización por medio de transectos de la imagen.	198
Figura 4.1.14. Calco vectorial de la cierva de la zona central del panel pictórico de la Sala de la Hoya.	198
Figura 4.1.15. Bandas correspondientes a las Componentes Principales de las figuras caprinas de la derecha del panel.	200
Figura 4.1.16. Imagen en falso color elaborada a partir de las tres Componentes Principales.	201
Figura 4.1.17. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP (CP1, CP2, CP2) utilizada como imagen base para la clasificación y vectorización.	202
Figura 4.1.18. Resultado de la vectorización de la imagen	202

clasificada de las cabras de la zona derecha del panel.

Figura 4.1.19. Diferentes vistas de los calcos de las diferentes figuras del panel integrados en el Modelo Digital de Elevaciones.	203
Figura 4.1.20. Calco de Breuil y Obermaier (1935) (arriba) y calco elaborado en este trabajo superpuesto al MDE de la cueva (abajo).	205
Figura 4.2.1. Distribución de los distintos tipos de colonizaciones sobre los techos colonizados en la cavidad. Fuente: Sánchez-Moral <i>et alii</i> (2009).	209
Figura 4.2.2. Localización en la planta de la cueva de los distintos puntos de control incluidos en este estudio.	212
Figura 4.2.3. Superposición de fotogramas correspondientes a 2007 y 2009 en Adobe Photoshop CS.	214
Figura 4.2.4. Situación del Punto de Control 1 y área seleccionada para el análisis de imagen.	217
Figura 4.2.5. Imágenes en falso color del área seleccionada del punto de control 1 (CP3, CP3, CP2). Izquierda, fotograma de 2007. Derecha, fotograma de 2009.	218
Figura 4.2.6. Superficie ocupada por las colonizaciones amarillas en 2007 y 2009.	219
Figura 4.2.7. Área de control seleccionada para validar la medición de las manchas amarillas. Izquierda, 2007; derecha, 2009. Imágenes en falso color a partir de las bandas de CP (CP3, CP3, CP2).	220
Figura 4.2.8. Extensión de las colonizaciones blancas/grises en el área seleccionada para el punto de control 1. Imágenes en falso color (CP2, CP2, CP3). Izquierda, 2007. Derecha, 2009.	221
Figura 4.2.9. Área seleccionada para su cuantificación. A la izquierda, fotograma de 2007, a la derecha, fotograma de 2009.	222
Figura 4.2.10. Situación del Punto de Control 3 y área seleccionada	223

para el análisis de imagen.

Figura 4.2.11. Arriba, área abarcada por el fotograma de 2007 para el punto 3. Abajo, fotograma de 2009 fotorrestituído con respecto al de 2007. 224

Figura 4.2.12. Izquierda, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2007. Derecha, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2009. 225

Figura 4.2.13. Área seleccionada para su cuantificación. A la izquierda, fotograma de 2007, a la derecha, fotograma de 2009. 225

Figura 4.2.14. Izquierda, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2007. Derecha, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2009. 226

Figura 4.2.15. Área seleccionada para su cuantificación. A la izquierda, fotograma de 2007, a la derecha, fotograma de 2009. 226

Figura 4.2.16. Situación del Punto de Control 5 y área seleccionada para el análisis de imagen. 227

Figura 4.2.17. Arriba, área abarcada por el fotograma de 2007 para el punto 5. Abajo, fotograma de 2009 fotorrestituído con respecto al de 2007. 228

Figura 4.2.18. Banda correspondiente a la segunda CP del fotograma de 2007 del punto de control 5. Las colonias blancas/grises se marcan como pequeños círculos claros, que, sin embargo coinciden en tonalidad con muchos otros puntos de la imagen. 229

Figura 4.2.19. Imagen en falso color a partir de las bandas de Componentes Principales (CP1, CP2, CP3). Las manchas blancas/grises pueden apreciarse como píxeles de tonalidad amarillenta fácilmente distinguibles del resto de los píxeles de la imagen. 229

Figura 4.2.20. Píxeles seleccionados para su medición. Izquierda, fotograma de 2007. Derecha, fotograma de 2009. 230

Figura 4.2.21. Situación del Punto de Control 6 y área seleccionada para el análisis de imagen.	231
Figura 4.2.22. Imagen en falso color del área cubierta por un fotograma de 2007 del punto de control 6 elaborada a partir de las tres bandas obtenidas por análisis de Componentes Principales. Los tonos magenta se corresponden con las manchas blancas/grises.	232
Figura 4.2.23. Izquierda, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2007. Derecha, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2009.	233
Figura 4.2.24. Píxeles seleccionados para su medición. Izquierda, fotograma de 2007. Derecha, fotograma de 2009.	233
Figura 4.2.25. Imagen de detalle captada en el intervalo de longitudes de onda del visible de parte de la zona abarcada por el punto de control 2.	235
Figura 4.2.26. Imagen de fluorescencia inducida por UV de la misma zona reflejada en la Figura 4.2.25, fotorrestituída digitalmente.	235
Figura 4.2.27. Selección utilizada en visible.	236
Figura 4.2.28. Imagen de Fluorescencia inducida por UV de la selección efectuada.	237
Figura 4.2.29. Banda correspondiente a la segunda Componente Principal de la imagen de espectro visible utilizada.	238
Figura 4.2.30. Imagen correspondiente a la primera Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV utilizada para este estudio.	239
Figura 4.2.31. Imagen correspondiente a la segunda Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV utilizada para este estudio. Las flechas señalan manchas amarillas que aparecen en esta banda con valores similares a los de las manchas	241

blancas.

Figura 4.2.32. Imagen correspondiente a la tercera Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV utilizada para este estudio.	242
Figura 4.2.33. Imagen en falso color elaborada utilizando las tres bandas obtenidas por análisis de Componentes Principales. Las manchas grises se destacan en tonos magenta. Las manchas amarillas se destacan en tonos azul verdosos y las blancas en tonos amarillentos y en tonos blancos.	243
Figura 4.2.34. Suma de CP1UV y CP2UV. En tonos blancos: manchas blancas.	244
Figura 4.3.1. Situación del abrigo Muriecho L en el Barranco de Fornocal (Colungo, Huesca). Elaboración propia.	251
Figura 4.3.2. Planta y alzados de Muriecho L, con la localización de los paneles pintados. Fuente: Baldellou Martinez <i>et alii</i> (2000).	253
Figura 4.3.3. Colonización endolítica en Muriecho L. Fotografía del autor.	254
Figura 4.3.4. Calco íntegro del Panel 1 de Muriecho L. Fuente: Baldellou Martinez <i>et alii</i> (2000).	256
Figura 4.3.5. Toma de muestras en Muriecho L. Fotografía del autor.	256
Figura 4.3.6. Mosaico del Panel 1 de Muriecho L.	258
Figura 4.3.7. Imagen clasificada mediante un algoritmo <i>k-means</i> con 4 clases y 20 iteraciones. Iteración 20. Las clases 2 y 4 definen la mayor parte de los píxeles que corresponden con pigmento aunque es notoria la abundancia de píxeles mal clasificados.	260
Figura 4.3.8. Clasificación no supervisada de una imagen de detalle de la zona centro-superior del Panel 1. Los píxeles amarillos definen la clase “Pigmento” de manera parcial.	261
Figura 4.3.9. Imagen clasificada por métodos no supervisados del	262

mismo fotograma de la Figura anterior. Los píxeles rojos definen, de nuevo, la clase “Pigmento” mejorando la visión de detalle de algunas figuras pero con gran cantidad de píxeles mal clasificados.

Figura 4.3.10. A. Fotograma general ML_DSCN3413. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.	264
Figura 4.3.11. A. Fotograma de detalle ML026. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.	265
Figura 4.3.12. A. Fotograma de detalle ML027. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.	266
Figura 4.3.13. A. Fotograma de detalle ML028. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.	267
Figura 4.3.14. Imagen en falso color elaborada a partir de las bandas correspondientes a las Componentes Principales del fotograma ML025 (CP2, CP1, CP3).	268
Figura 4.3.15. Clasificación <i>K-means</i> (no supervisada) del cubo de imagen obtenido de las Componentes Principales del fotograma ML025.	269
Figura 4.3.16. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML028 (CP2, CP2, CP1).	270
Figura 4.3.17. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML028 (CP2, CP2, CP3).	271
Figura 4.3.18. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML027 (CP2, CP2, CP3).	272
Figura 4.3.19. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML027 (CP1, CP2, CP2).	273
Figura 4.3.20. Composición en falso color ponderando la segunda	274

CP del fotograma ML026 (CP1, CP2, CP2).

Figura 4.3.21. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML026 y banda roja de visible (R, CP2, CP2). 275

Figura 4.3.22. Izquierda: Calco del área del Panel 1 de Muriecho L en el que se ha localizado el posible zoomorfo. Derecha: La flecha señala la figura animal en una composición en falso color elaborada utilizando la segunda CP y una banda de visible. 276

Figura 4.3.23. Discrepancias entre el calco original del Panel 1 de Muriecho L y las imágenes obtenidas en este trabajo. 277

Figura 4.4.1. Localización de los abrigos de La Coquinera en el Parque Cultural del Río Martín (Teruel). 288

Figura 4.4.2. Paredes en las que se abren los abrigos de La Coquinera. Fotografía de J.M. González. 288

Figura 4.4.3. Panel rupestre de La Coquinera II. Fotografía de J.M. González. 289

Figura 4.4.4. Protocolo de análisis de imagen utilizado en este capítulo. 291

Figura 4.4.5. Ubicación de los puntos de muestreo de pigmentos sobre detalle del calco de la Coquinera II. Fuente: A partir de Beltrán Martínez (2005). 292

Figura 4.4.6. Descomposición en Componentes Principales de una imagen de La Coquinera II. A. Imagen base (fotografía digital estándar); B. CP1; C. CP2; D. CP3. 293

Figura 4.4.7. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP de la imagen RGB original (CP1, CP2, CP3). 295

Figura 4.4.8. Imagen falso color a partir de las CP minoritarias (CP3, CP3, CP2). 296

Figura 4.4.9. Resultante de la suma de imágenes obtenidas mediante la aplicación de un filtro W y otro NW a la imagen 297

original RGB.

Figura 4.4.10. Componentes Principales del cubo de imagen de seis bandas. A. CP1, B. CP2, C. CP3, D. CP4, E. CP5, F. CP6.	298
Figura 4.4.11. Imagen falso color a partir de las CP del cubo de seis bandas (CP2, CP6, CP4).	300
Figura 4.4.12. Imagen falso color resultado de la sustracción a la imagen de la Figura 4.4.7 de los valores de la Figura 4.4.11.	301
Figura 4.4.13. Dendrograma que muestra el agrupamiento jerárquico de los resultados analíticos obtenidos mediante LA-ICP/MS.	303
Figura 4.5.1. Ubicación geográfica del núcleo de arte rupestre de Faia.	309
Figura 4.5.2. Bóvidos de la Roca 1 de Faia. Fotografía de P. Guimarães.	311
Figura 4.5.3. Calco elaborado con métodos tradicionales del conjunto de bóvidos de la Roca 1 de Faia.	312
Figura 4.5.4. Figura antropomorfa de la roca 1 de Faia. Fotografía de P. Guimarães.	313
Figura 4.5.5. Calco tradicional del antropomorfo de la Roca 1 de Faia.	314
Figura 4.5.6. Protocolo empleado para el análisis de imagen en este capítulo.	315
Figura 4.5.7. Bandas producto del análisis de Componentes Principales de una imagen del panel de los bóvidos. (A) CP1, (B) CP2, (C) CP3.	316
Figura 4.5.8. Imagen en falso color del grupo de los bóvidos elaborada a partir de las CP minoritarias (CP3, CP3, CP2).	318
Figura 4.5.9. Resultado de la vectorización automática de la	319

cubierta pictórica del panel de los bóvidos de Faia.

Figura 4.5.10. Cubierta vectorial de la capa pictórica superpuesta a la microtopografía de la roca soporte del panel de los bóvidos. 320

Figura 4.5.11. Banda correspondiente a la tercera Componente Principal de uno de los fotogramas empleados para elaborar el calco del antropomorfo. 322

Figura 4.5.12. A. Imagen en falso color elaborada a partir de las Componentes Principales minoritarias de un fotograma de la figura antropomorfa (CP3, CP3, CP2). B. Mosaico de dos imágenes en falso color elaboradas a partir de las mismas bandas. 323

Figura 4.5.13. Resultado de la vectorización de la imagen binaria de la figura antropomorfa. 324

Figura 4.5.14. Calco vectorial de la figura antropomorfa. 325

Figura 4.5.15. (A) Segunda CP de la imagen del antropomorfo, (B) Falso color (CP1, CP2, CP3) que muestra, en tonos rosáceos, la extensión de la colonización por líquenes. 326

Índice de Tablas

Tabla	Página
Tabla 1.1. Dataciones directas de Arte Rupestre Paleolítico (según Alcolea y de Balbín 2007).	20-26
Tabla 1.2. Dataciones radiocarbónicas de pátinas de oxalato cálcico relacionadas con motivos levantinos.	29
Tabla 1.3. Dataciones directas de motivos de Arte Rupestre Esquemático.	33
Tabla 1.4. Dataciones directas de motivos pintados de Arte Megalítico (a partir de Carrera y Fábregas 2006 y Bueno y de Balbín 2006).	34
Tabla 1.5. Ventajas y limitaciones de los distintos métodos tradicionales de documentación de arte rupestre.	55-56
Tabla 2.1. Síntomas del biodeterioro de materiales (Según Saiz-Jimenez 1981).	92
Tabla 2.2. Algunas propiedades de los organismos que utilizan las estrategias r y K relevantes para la colonización de superficies pétreas. De Hoppert y König (2006).	99
Tabla 4.1.1. Varianza explicada por los autovalores correspondientes a las Componentes Principales para el motivo de la cierva de la Sala de La Hoya.	194
Tabla 4.1.2. Varianza explicada por los autovalores correspondientes a las Componentes Principales para las cabras de la zona derecha del panel de la Sala de La Hoya.	201
Tabla 4.2.1. Características principales de cada tipo de colonización microbiana estudiada junto con los datos de localización preferente, soporte y condiciones microambientales de desarrollo, según Sánchez-Moral <i>et alii</i> (2009).	210-211

Tabla 4.2.2. Superficie ocupada por las manchas amarillas en el área delimitada para el punto de control 1.	220
Tabla 4.2.3. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 1.	222
Tabla 4.2.4. Superficie ocupada por las manchas amarillas en el área delimitada para el punto de control 3.	225
Tabla 4.2.5. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 3.	226
Tabla 4.2.6. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 5.	230
Tabla 4.2.7. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 6.	233
Tabla 4.2.8. Autovalores y varianza total explicada en cada banda producto de análisis de Componentes Principales.	236
Tabla 4.2.9. Superficie ocupada por las distintas colonizaciones en el área de estudio.	245
Tabla 4.3.1. Precipitaciones máximas en 24 horas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años para la estación meteorológica de Arcusa (Huesca). Fuente: del Valle Melendo (1997).	253
Tabla 4.3.2. Porcentaje de información registrado en las Componentes Principales de las imágenes empleadas a partir de sus autovalores.	263
Tabla 4.4.1. Autovalores y porcentaje de información explicado por cada Componente Principal de la imagen original RGB.	293
Tabla 4.4.2. Composición elemental para cada una de las muestras citadas del abrigo de La Coquinera, homogeneizadas para un contenido en Fe del 10%, valores en $\mu\text{g/g}$.	302-303

Tabla 4.5.1. Autovalores obtenidos al calcular las Componentes Principales de la imagen del panel de los bóvidos.	317
--	-----

Tabla 4.5.2. Autovalores obtenidos al calcular las Componentes Principales de la imagen del panel del antropomorfo.	321
--	-----

«Para conocer un fenómeno físico tenemos que comprender las leyes que gobiernan su generación. Para conocer una entidad histórica, hemos de conservar un registro. Benditos sean los que registran y los que recolectan.»

Stephen J. Gould, *La montaña de almejas de Leonardo*.

Preámbulo

El Grupo de investigación “Deterioro de Monumentos” (PAI RNM201) es un equipo transdisciplinar integrado por científicos procedentes de distintas áreas, principalmente biólogos, químicos y geólogos. Las líneas de investigación del Grupo con respecto a elementos constituyentes del Patrimonio Histórico vienen desarrollándose desde inicios de los años ochenta del siglo pasado, a raíz del estudio de los procesos de biodeterioro de los murales de Vázquez Díaz en el monasterio de La Rábida (SAIZ-JIMENEZ y SAMSON 1981, SAIZ-JIMENEZ 1982). A finales de la década de los ochenta se llevan a cabo trabajos sobre la alteración de la piedra, tanto desde el punto de vista del

biodeterioro inducido por microorganismos (GARCIA-ROWE y SAIZ-JIMENEZ 1988) como por la contaminación atmosférica (SAIZ-JIMENEZ 1988). A partir de estos inicios, el Grupo ha ido desarrollando distintas líneas de trabajo relacionadas con el patrimonio histórico, tales como (i) el estudio del *biodeterioro de la piedra*, destacando el estudio de las catedrales de Sevilla, Salamanca y Toledo, o los relieves Sasánidas de Bishapour (Iran); (ii) la *conservación de conjuntos arqueológicos* entre los que destacan Itálica, Baelo Claudia y la Necrópolis de Carmona en Andalucía, y, fuera de España, la Villa Imperial del Casale, en Piazza Armerina, Sicilia, o las catacumbas de San Calixto y Domitila en Roma; (iii) el estudio de la *acción de la contaminación atmosférica sobre monumentos y edificios históricos*, pudiendo resaltarse las intervenciones en la Catedral de Sevilla, la Basílica de Saint-Denis (Paris), el Duomo de Florencia o la Catedral de Malinas (Bélgica), y (iv) la *conservación de pinturas rupestres en cuevas y abrigos*.

Entre los lugares de estudio de esta última línea sobresalen entre las localizaciones con pinturas paleolíticas las cuevas de Doña Trinidad (Ardales, Málaga), el abrigo de Fuente del Trucho (Colungo, Huesca), Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias), La Garma (Omoño, Cantabria) y Lascaux (Montignac, Francia); y entre las localizaciones con manifestaciones parietales postpaleolíticas los abrigos del Tajo de las Figuras y cueva del Arco (Benalup-Casas Viejas, Cádiz), Atlanterra (Tarifa, Cádiz), Peñas Cabrera (Casabermeja, Málaga), cueva de Los Letreros (Vélez-Blanco, Almería), La Graja (Jimena, Jaén), el Encajero (Quesada, Jaén), la cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba), el abrigo de Muriecho L (Colungo, Huesca), los del Tío Campano, Prado del Navazo y Cabras Blancas en el Parque Cultural de Albarracín (Teruel) y la Grotta dei Cervi (Porto Badisco, Italia). Una visión más extensa de las líneas de investigación y los resultados alcanzados por el grupo puede consultarse en Sanchez-Moral *et alii* (2008) y Saiz-Jiménez y González Grau (2008)

El incremento de intervenciones relacionadas con el patrimonio arqueológico en general, y con el arte rupestre en particular, creó en el grupo la necesidad de contar con miembros formados en

arqueología que contribuyeran al desarrollo de métodos de registro y reproducción no invasivos de cubiertas bióticas y abióticas relacionadas con la conservación de estos sistemas naturales. En este contexto se enmarca el proyecto “Métodos analíticos para la documentación integral del Arte Rupestre prehistórico” (PIF 200540F0023), financiado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, coordinado por Juan M. Vicent García y dirigido en lo que respecta a cubiertas bióticas por Cesáreo Sáiz Jiménez, que finalizó en Noviembre de 2007, y el posterior “Aplicación de técnicas de teledetección a la monitorización del biodeterioro y documentación de bienes culturales en ambientes hipogeos” (PIE 200440E327) financiado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y dirigido por Cesáreo Sáiz Jiménez, asociado al Proyecto de Excelencia “Comunidades microbianas asociadas al desarrollo de eflorescencias en monumentos andaluces: determinación de su actividad metabólica mediante técnicas moleculares y papel en el biodeterioro” (P06-RNM-02318), financiado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y dirigido por Cesáreo Sáiz Jiménez, ambos recientemente finalizados.

La experiencia adquirida en el desarrollo y aplicación de técnicas de análisis de imagen a la conservación de bienes culturales se ha traducido en la realización de diferentes proyectos bilaterales de investigación de ámbito internacional: “Monitorización de la bioreceptividad de materiales empleados en el Patrimonio Cultural” (2007PT0041), en colaboración con el Departamento de Conservação e Restauro de la Universidade Nova de Lisboa, finalizado en 2009; “Technology and biotechnology for the conservation of hypogean Cultural Heritage” (2008IT0054), en colaboración con el Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali del Consiglio Nazionale delle Ricerche, con fecha de finalización en 2010; y en la implementación de estas técnicas en el marco del “Programa de investigación en Tecnologías para la Valoración y Conservación del Patrimonio” (CONSOLIDER CSD2007-00058), coordinado por Felipe Criado Boado y que tiene prevista su duración hasta 2012.

La Memoria que aquí se presenta es fruto de la actividad desarrollada en el marco de los proyectos arriba citados, que también han

proporcionado el marco para la elaboración de diversos trabajos científicos y comunicaciones a congresos aparecidas en los últimos años o a punto de aparecer (GOMES *et alii* 2008 a,b, MILLER *et alii* 2010 a,b, PORTILLO *et alii* 2008 a, ROGERIO-CANDELERÁ 2007, 2008, 2009, 2010 a,b, ROGERIO-CANDELERÁ y ÉLEZ VILLAR 2010, ROGERIO-CANDELERÁ *et alii* 2008 a,b,c, 2009 a,b, 2010 a,b,c).

Algunos de los resultados de esta Memoria se enmarcan, además, en el proyecto “Estudio integrado de los factores de deterioro de los sustratos rocosos del arte rupestre en Aragón: parámetros ambientales, geológicos y biológicos” (PM055/2006), financiado por el Gobierno de Aragón y en el Convenio específico de colaboración entre la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas para el estudio integral del estado de conservación de la Cueva de Altamira y sus representaciones artísticas paleolíticas.

Esta investigación ha sido posible gracias a la ayuda y colaboración de los miembros del grupo “Deterioro de Monumentos”, y en especial de su director, el Prof. Dr. D. Cesáreo Sáiz Jiménez, sin cuyo asesoramiento y disposición permanente este trabajo no hubiera sido posible y de la Dra. Valme Jurado Lobo por su ayuda en los temas relativos a biodeterioro. A todos ellos agradezco su apoyo y colaboración. Quiero también expresar mi agradecimiento al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en cuyo Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla se ha realizado este trabajo; a la ayuda y permanente disposición del otro codirector de esta memoria, el Dr. D. Juan Manuel Vicent García, del Instituto de Historia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y a la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, que ha facilitado el marco institucional en el que han podido desarrollarse los trabajos.

Se agradecen a la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, al Departamento de Educación, Cultura y Deporte de la Diputación General de Aragón y al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte las facilidades dadas para el estudio. En especial se agradece la colaboración prestada por D^a Elisa Pinilla Pinilla, de la Dirección

General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía, el Dr. Ramiro Alloza Izquierdo, del Laboratorio de Análisis e Investigación de Bienes Culturales del Gobierno de Aragón, el Dr. Sergio Sánchez Moral y la Dra. Soledad Cuezva Robleño, del Museo Nacional de Ciencias Naturales, el Dr. Javier Élez Villar, de Geomnía y los Dres. Jose Antonio Lasheras y Carmen de las Heras, del Museo de Altamira.

Y, *last but not least*, a Eva, por sus constantes apoyo y comprensión, y por las largas tardes de revisión de los textos que conforman esta Memoria, y a Álvaro, que entre cambio y cambio de pañal me ha permitido terminar de escribirla.

1

Introducción

El objetivo principal de este estudio reside en la aplicación de técnicas de análisis digital de imagen para documentar de manera integral la pintura rupestre. Parece, pues, conveniente comenzar este trabajo trazando un breve panorama del arte rupestre que existe en nuestro entorno más cercano, la Península Ibérica, para ayudar a definir nuestro campo de actuación. Por otra parte, puesto que el arte rupestre no se encuentra aislado en el espacio, ajeno a las influencias del entorno sino, por el contrario, constituyendo parte indisoluble de sistemas naturales de naturaleza dinámica, consideramos apropiado hacer una breve revisión de las características de estos sistemas y sus flujos energéticos para comprender la naturaleza de los factores de deterioro que pueden afectar a la conservación de las pinturas rupestres. A partir de estas

reflexiones encontraremos el camino para definir el concepto de documentación integral del arte rupestre, un concepto que resulta clave en este trabajo toda vez que pretende desarrollar e implementar técnicas que permitan minimizar el tiempo y el impacto de la documentación de la pintura rupestre.

1.1. ARTE RUPESTRE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Intentar, siquiera de pasada como en este caso, desglosar un panorama que comprenda la realidad, o más bien conjunto de realidades, que conocemos como arte rupestre de la Península Ibérica supone un ejercicio de inmersión en lo inabarcable, comenzando por el marco cronológico, que comprende desde manifestaciones parietales realizadas en el Paleolítico Superior hasta otras elaboradas en momentos decididamente históricos (MATEO SAURA 1995, 2000, MARTÍNEZ BEA 2004). La complejidad y heterogeneidad del arte rupestre peninsular es tan amplia, que en la mayoría de los casos, podemos decir que el nexo común que presentan las distintas expresiones artísticas es la de haberse plasmado sobre soportes pétreos. No solo la cronología, sino también las áreas de distribución de estos artes, las técnicas utilizadas en su realización, y, sobre todo, el carácter de las sociedades a las que responden y su sentido último dentro de éstas, contribuyen a que el arte rupestre de la Península Ibérica muestre la más absoluta heterogeneidad, que ilustra sobre la artificiosidad del término con el que titulamos este apartado.

Puesto que nuestro objeto de estudio abarca realidades tan diferentes, una definición sencilla del mismo no puede ser más que operativa, centrada en las técnicas de ejecución y en los motivos realizados. Para nuestros propósitos, arte rupestre es todo acto gráfico, independientemente de su posible valor semántico dentro de un determinado sistema de creencias, producido mediante aplicación de pintura, raspado, grabado, bajorrelieve o escultura de bulto redondo, con instrumentos tan variados como los dedos, buriles, picos de sílex o pinceles, efectuado sobre superficies rocosas duras (calizas, areniscas, esquistos...) o blandas (arcillas), sin preparación

previa o con una preparación muy somera del soporte. Una definición propuesta recientemente que se ajusta bastante bien al concepto de arte rupestre que manejamos en este trabajo lo califica de “marcas antrópicas no utilitarias sobre superficies pétreas, realizadas por un proceso aditivo (pictograma) o reductivo (petroglifo)” (BEDNARIK 2007: 209), aunque no es nuestra intención intentar discernir el carácter utilitario o no de las marcas, puesto que para ello deberíamos entrar en el ámbito de la interpretación.

Indiscutiblemente, los habitantes de la Península Ibérica en épocas posteriores a las de la realización del arte rupestre no fueron totalmente ajenos a la presencia de éste en el territorio, como lo demuestra la existencia de variados testimonios y noticias que dan cuenta de su existencia (RIPOLL PERELLÓ 1997, BAHN 1998). Sin embargo, no es hasta el siglo XVIII que comienza su descubrimiento científico a raíz de la publicación, en 1734 y 1738, por Jerónimo Contador de Argote, de las “letras” rupestres pintadas en Cachão de Rapa (Anciães, Tràs Os Montes, Portugal), y del informe enviado en 1783 al Conde de Floridablanca por Fernando José López de Cárdenas sobre los “jeroglifos de gentiles” de Fuencaliente (Ciudad Real) (RIPOLL PERELLÓ 1997).

Durante la segunda mitad del siglo XIX dos importantes hitos marcan el inicio de las investigaciones científicas sobre arte rupestre. El punto de partida para el estudio del arte postpaleolítico reside en la pionera publicación de M. de Góngora que, por sí misma, constituye una de las primeras aportaciones españolas a la disciplina prehistórica (RIPOLL PERELLÓ 1997). En él, además de los dibujos de Cárdenas de las pinturas de Fuencaliente, se publicaba el nuevo descubrimiento de la Cueva de los Letreros (Vélez-Blanco, Almería) (GÓNGORA y MARTÍNEZ 1868). El segundo hito, y quizás el que más repercusión ha tenido a lo largo de los años, fue el descubrimiento y publicación de las pinturas de Altamira por Marcelino SANZ DE SAUTUOLA (1880). La polémica suscitada en la comunidad científica internacional sobre la autenticidad de las pinturas terminó con el tardío, pero honesto, reconocimiento de su autenticidad por CARTAILHAC (1902), una vez que los sucesivos descubrimientos de arte

rupestre Paleolítico en Francia hacían imposible no avalar su autenticidad.

Nuestra enumeración de los distintos “artes rupestres” de la Península Ibérica debe tomar algún hilo conductor, y nosotros hemos optado por el cronológico. La opción elegida, aunque pudiera resultar polémica en algún caso, no pretende establecer una cronología del arte rupestre, sino tan sólo ordenar *grosso modo* el complejo conjunto del que nos ocupamos. La ordenación se basa en una cronología relativa tradicional, estilística, debido a que se trata de una elaboración que, en líneas generales, es ampliamente aceptada aunque cuente con detractores (APELLÁNIZ 2004, BEDNARIK 2007, CLOTTES 1995, LORBLANCHET 1993, 1995, LORBLANCHET y BAHN 1999, entre otros) y, también en general, se confirma con dataciones directas (SANCHIDRIÁN TORTI y VALLADAS 2001, por ejemplo), aunque algunas excepciones, como es el caso de Chauvet (CLOTTES *et alii* 1995), nos muestren que deben tomarse con prevención las dataciones directas (ALCOLEA y DE BALBÍN 2007, PETTITT y PIKE 2007). Tampoco es el objetivo de este capítulo establecer un catálogo actualizado del arte rupestre peninsular. Por el contrario, su principal interés reside en acotar el campo de aplicación del trabajo que desarrollamos.

1.1.1. UNA BREVE CARACTERIZACIÓN DE LOS DIFERENTES HORIZONTES RUPESTRES DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

1.1.1.A. ARTE PALEOLÍTICO

En este esquema *grosso modo* cronológico que desarrollamos, debemos hacer la primera parada en las manifestaciones parietales que corresponden al Pleistoceno (Figura 1.1). El Arte Paleolítico, arte de las cavernas, arte de la Edad del Reno o arte de la Edad del Hielo, como ha sido llamado, cobra desde los primeros tiempos de la investigación una entidad característica, que se definió básicamente por el naturalismo de sus figuras y por hallarse realizado en cuevas. Sin embargo, la realidad del llamado Arte Paleolítico es mucho más compleja. Así, además de las clásicas figuraciones en cuevas existe cada vez más arte paleolítico en abrigos más o menos profundos

(Fuente del Trucho, en Colungo, Huesca, o Cueva del Moro, en Tarifa, Cádiz, por ejemplo) e incluso al aire libre, como muestran los ejemplos de Foz Côa, en Portugal, Siega Verde (Villar de Argañán, Salamanca) o Domingo García (Sepúlveda, Segovia). Fortea (2005, 2008) distingue cuatro tipos de localización distinta para el arte rupestre paleolítico: en zonas profundas de cuevas, en vestíbulos y zonas de penumbra de cuevas, en abrigos más o menos protegidos y al aire libre. Probablemente, el hecho de que la mayoría del arte rupestre fechable en el Paleolítico Superior se encuentre en cuevas pueda deberse a cuestiones de conservación diferencial, ya que las cuevas son, por definición, sistemas naturales mucho más estables si no hay interferencias externas que los expuestos a las variaciones de la climatología exterior debido a que se trata de sistemas de baja energía (SÁNCHEZ-MORAL y CAÑEVERAS 2010, SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2008), aunque otra posible explicación estriba en la orientación que hasta hace poco tiempo guiaba la prospección (FORTEA 2008). La litología de las superficies soporte para el arte rupestre en ámbitos exteriores también puede explicar la mayor abundancia de Arte Paleolítico en cuevas (en torno a dos tercios del total de estaciones conocidas), cuyo diferente grado de dureza y cohesión ha podido condicionar su supervivencia (FORTEA 2008). La opinión más generalizada es, pues, que los autores de este arte rupestre “invistieron simbólicamente toda la geografía, interior y exterior, que recorrían, explotaban y nombraban” (FORTEA 2008: 3), e incluso que el fenómeno artístico “estaba presente en todos los aspectos de la vida diaria” (BICHO *et alii* 2007: 99).

El segundo de los pilares de la definición clásica del Arte Paleolítico, su carácter de figuraciones naturalistas (Figura 1.1), es altamente controvertido. Ciertamente, entre las figuraciones naturalistas del Paleolítico Superior (sobre todo en las del Magdaleniense Superior) existen algunas de excepcional calidad o interés estético, que han centrado el discurso de los investigadores. Sin embargo, no todo el Arte Paleolítico presenta esas excepcionales características y, por otra parte, no son ni siquiera las figuraciones las expresiones mayoritarias. Antes bien, lo más abundante en el Arte Paleolítico son las expresiones esquemáticas, los llamados “signos” (BERNALDO DE QUIRÓS y MINGO ÁLVAREZ 2005) que, quizás debido a la difícil, si no

imposible, interpretación de su significado desde nuestros puntos de vista actuales, no han recibido el grueso de los esfuerzos de investigación. Abundan además los motivos sencillos como los grabados no figurativos (líneas simples, por ejemplo), manchas de pigmento rojo, series de puntos o marcas, en muchas ocasiones conviviendo con representaciones figurativas elaboradas (BICHO *et alii* 2007).

Con respecto a las técnicas de ejecución, el Arte Paleolítico se ha realizado con dos tipos: grabado y pintura (FORTEA 2005). El grabado puede realizarse con el dedo o una punta roma, si las superficies soporte son arcillas, mediante piqueteados contiguos o adyacentes, o puede ser el producto de la incisión realizada por el filo de un útil silíceo sobre una superficie con menor dureza. Suele abundar el grabado con líneas finas en el interior de las cuevas, mientras que en las localizaciones con luz natural predominan los surcos profundos (FORTEA 2008). Una técnica de grabado de trazo fino muy utilizada en la Península, con predominio en la zona central cantábrica, utiliza el trazo múltiple para el perfil que se complementa con haces estriados para sombrear y modelar el interior (FORTEA 2008). El efecto volumétrico y de relieve puede producirse en los grabados de surco profundo mediante rebajes y redondeamiento de sus labios, aunque en la Península no se conocen bajo y medio relieves como los que se dan en Francia (FORTEA 2008).

La pintura puede utilizarse para realizar trazos lineales, elaborar líneas mediante tamponado (procedimiento muy frecuente en la Península) o para la aplicación de masas de pigmento. Las figuras suelen ser monocromas o bícromas (FORTEA 2008), utilizándose fundamentalmente los colores rojo y negro. En algunos ejemplos complejos, la pintura se lavó y raspó para conseguir efectos policromos. En las figuras elaboradas en el interior de cuevas, según épocas, se asocia el grabado a la pintura para delimitar los contornos o reflejar detalles internos del individuo representado. Para la aplicación del color se utilizaron varios procedimientos, incluida la aerografía (FORTEA 2008).



Figura 1.1. Bisonte de la Sala de Polícromos, Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), ejemplo paradigmático de lo que se entiende popularmente por Arte Paleolítico. Fotografía del autor.

Los pigmentos rojos son óxidos de hierro, fundamentalmente hematita, tanto en pinturas francesas (MENU y WALTER 1992, VIGNAUD *et alii* 2006) como españolas (HOYOS *et alii* 1999, GÁRATE *et alii* 2004). Entre los pigmentos negros abundan los óxidos o hidróxidos de manganeso como la manganita, pirolusita, romanechita, hollandita, criptomelana o todorokita (MENU y WALTER 1992, SMITH *et alii* 1999, GUINEAU *et alii* 2001, CHALMIN *et alii* 2004 a,b, 2006 a,b, VIGNAUD *et alii* 2006) y el carbón vegetal (MENU y WALTER 1992, SMITH *et alii* 1999, GUINEAU *et alii* 2001). El pigmento amarillo, poco frecuente, se obtendría de la goetita (CHALMIN *et alii* 2006 a). Los pigmentos pueden mezclarse con arcillas o caolines como carga o pigmento extendedor (JUDSON 1959), combinación detectada en La Grande Grotte (Arcy-sur-Cure, Yonne), donde es muy frecuente (BAFFIER *et alii* 1999), o en Arenaza (GÁRATE *et alii* 2004), donde esta combinación se detecta en varias muestras. La existencia o no de sustancias aglutinantes dista mucho de estar aclarada. Se ha señalado la presencia de ácidos grasos en las pinturas que, en general, se ha relacionado con vehículos o aglutinantes para la misma en Fontanet, Enlène y Trois Frères (PEPE *et alii* 1991), aunque no está claro si estos ácidos grasos son producto de la degradación de grasas de origen animal o vegetal utilizadas como aglutinante o, por el contrario, están relacionados con la actividad biótica en la cueva y no con el medio pictórico (SPADES y RUSS 2005).

En cuanto a los temas, como ya hemos comentado más arriba, existen dos vertientes: por una parte, la de tipo naturalista, que recoge fundamentalmente figuras animales tratadas con cierto realismo no exento de convencionalismos gráficos, y una segunda vertiente esquemática, que recoge el variado mundo de los signos.

1.1.1.B. ARTE LEVANTINO

El segundo horizonte artístico que debemos reseñar aquí es el conocido como Arte Levantino (Figura 1.2). La referencia a las dificultades existentes para definir el arte rupestre levantino es una constante en la bibliografía (MARTÍNEZ GARCÍA 2005: 10). Aunque ha habido intentos más o menos elaborados para definir lo levantino por contraposición a otros tipos de arte rupestre (CRIADO y PENEDO 1989, 1993, MATEO SAURA 2001, entre otros), muchas de las

características de este horizonte pueden observarse en otros. Por ello, lo más útil para nuestros propósitos será intentar definir un conjunto de propiedades que permitan caracterizar a este horizonte artístico en sus cualidades propias, aunque en algún caso sean compartidas con otros tipos de arte rupestre. Así, lo que entendemos por Arte Levantino consiste en representaciones parietales llevadas a cabo en abrigos poco profundos o paredes verticales expuestas a la luz del día, situadas por lo general en la pared más que en el techo y realizadas mediante la aplicación de pintura. Hasta el momento, los únicos grabados levantinos que se conocen son los del Barranco Hondo (UTRILLA y VILLAYERDE 2004) que no sabemos si son excepcionales, o, por el contrario, muestran que aún nos queda mucho por conocer de este horizonte artístico. Los colores utilizados en la pintura son el rojo mayoritariamente, bastante menos el negro y muy excepcionalmente el blanco y el amarillo (MARTÍNEZ GARCÍA 2005).

El pigmento rojo ha sido el que ha recibido más interés aunque se han realizado, en honor a la verdad, escasas caracterizaciones de pigmentos correspondientes al horizonte levantino. Se trata de óxidos de hierro genéricos (RIPOLL 1961, MONTES y CABRERA 1991-1992) o hematita (HERNANZ *et alii* 2006 b, 2008, ROLDÁN *et alii* 2007). El resto de los pigmentos permanece sin ser sometido a estudios químicos sobre su naturaleza, excepción hecha del trabajo ya citado de Roldán *et alii* (2007), que señala al manganeso como pigmento principal en dos cérvidos levantinos de coloración negra. En los escasos análisis efectuados no se detectan sustancias aglutinantes (MATEO SAURA 2001) aunque podrían considerarse como tal las arcillas que acompañan al pigmento, como es el caso de las muestras analizadas por MONTES y CABRERA (1991-1992). Parece más lógico, sin embargo, considerarlas la carga del pigmento. En este sentido, en trabajos recientes se han identificado distintos materiales que pudieron actuar como carga, como cuarzo- α (ALLOZA *et alii* 2010) o fosfato cálcico en el bóvido 15 de Marmalo IV (RUIZ 2006), que parece proceder de hueso calcinado y molturado (HERNANZ *et alii* 2008).



Figura 1.2. Arquero levantino de la Cova dels Cavalls, en el Barranco de la Valltorta (Tirig, Castellón). Fotografía del autor.

A pesar de no encontrarse restos de aglutinante en las escasas caracterizaciones de pigmentos prehistóricos existentes, es posible que se haya utilizado alguno de naturaleza grasa para garantizar la

adherencia del pigmento tal y como propone a partir de experimentación práctica MAS CORNELLÀ (2005). Sin embargo, la detección de productos de degradación de aglutinantes o de los aglutinantes mismos es una tarea realmente compleja, sobre todo a la hora de discernir si realmente se trata de restos de aglutinante o proceden de la actividad biótica (SPADES y RUSS 2005). Más adelante abordaremos este tema de los posibles aglutinantes grasos y su naturaleza.

La ejecución de las pinturas levantinas se llevó a cabo bien utilizando trazos lineales, bien mediante la aplicación de tintas planas y, casi siempre, empleando de manera coordinada estas dos técnicas. Se ha señalado como procedimiento de realización el silueteado de las figuras mediante una línea fina y cuidada para después proceder al relleno del espacio interior mediante otras líneas paralelas o mediante una superficie homogénea de color (MATEO SAURA 2001). La línea levantina tiene un trazo que rara vez supera los 3 mm de grosor, que cubre las irregularidades de la roca y define unos perfiles muy precisos. Se ha planteado, por ello, la utilización de plumas de ave como instrumento de aplicación (ALONSO y GRIMAL 1996), o pinceles más o menos rudimentarios (MATEO SAURA 2001).

Los motivos representados en el Arte Levantino pueden encuadrarse en dos categorías: seres humanos y animales. La figura humana nunca se documenta como la única representación existente en un abrigo. Se encuentra formando parejas o agrupaciones de individuos, constituyendo o no escenas (MATEO SAURA 2001), entre las que se han identificado las de caza, recolección, rituales, lucha, y, en menor medida, actividades agrícolas y ganaderas (MARTÍNEZ GARCÍA 2005). Existen además algunas figuraciones con importante carga simbólica, como los personajes “alados” del Cortijo de Sorbas I (MATEO SAURA 2001). Las representaciones humanas ofrecen gran riqueza y variabilidad plástica, reflejándose detalles corporales, peinados, vestidos y adornos (MARTÍNEZ GARCÍA 2005). Los motivos animales, por su parte, son en ocasiones la única representación de una cavidad, aunque es más frecuente encontrarlos agrupados o formando parte de las escenas antes reseñadas (MATEO SAURA 2001). Los animales más comúnmente representados son, por este orden, ciervos, cabras,

bóvidos y suidos (CRIADO y PENEDO 1993). Definidos tradicionalmente como “naturalistas” por contraposición a las expresiones del arte rupestre Esquemático, los animales levantinos se representan de manera convencional, con “perspectiva torcida”, es decir, con cuerpos en perfil absoluto y detalles, como las orejas o cornamentas de cérvidos y caprinos, representados de frente. Se trata de un arte muy convencional, que delinea siluetas más que animales, y en los que son muy escasos los detalles anatómicos (CRIADO y PENEDO 1993).

1.1.1.C. ARTE MACROESQUEMÁTICO

El más recientemente reconocido de los horizontes artísticos postpaleolíticos de la Península Ibérica (Figura 1.3) es el conocido como Arte Macroesquemático (HERNÁNDEZ PÉREZ y CEC 1983), denominación que ha acabado imponiéndose tras un periodo en el que ha sido denominado como Arte Lineal-Figurativo, Contestano, Cardial o estilo Petracos (MATEO SAURA 2002) con representaciones pictóricas en abrigos y paredes y correlato mueble en las cerámicas con decoración cardial (HERNÁNDEZ PÉREZ 2000, 2005).

La pintura utilizada es exclusivamente roja oscura y de aspecto pastoso (HERNÁNDEZ PÉREZ 2000), de trazo ancho como corresponde al gran tamaño de las figuras, que parecen realizadas para ser vistas de lejos a diferencia de las realizaciones de otros horizontes artísticos peninsulares (MARTÍNEZ GARCÍA 2002). El repertorio de temas se centra en los motivos geométricos y en la figura humana (AURA TORTOSA 1983), tratados de manera muy diferente a las imaginerías levantina y esquemática, aunque con este último horizonte comparte tipologías de antropomorfos como los en X y en doble Y (ACOSTA 1983, MARTÍNEZ GARCÍA 2002). Entre los antropomorfos macroesquemáticos destacan los conocidos como “orantes”, grandes figuras con los brazos en alto y con indicación de los dedos (MARTÍNEZ GARCÍA 2002, MATEO SAURA 2002), que en cierto modo enmascaran una realidad más compleja (HERNÁNDEZ PÉREZ 2000) que implica al menos la existencia de tres tipos de representaciones humanas: orantes, antropomorfos de tendencia naturalista y antropomorfos de tendencia esquemática, que quizá podrían responder a diferencias cronológicas o conceptuales (HERNÁNDEZ PÉREZ 2000). Los motivos geométricos tienen también gran diversidad formal, incluyendo

serpentiformes verticales y en menor medida horizontales, además de meandriformes (MARTÍNEZ GARCÍA 2002). En los serpentiformes verticales llama la atención la existencia de las terminaciones del extremo superior en pequeños círculos o la presencia en este extremo de varias barras pequeñas, parecidas a los dedos de los orantes, así como los trazos de forma oval de los que surgen algunos serpentiformes (HERNÁNDEZ PÉREZ 2000).



Figura 1.3. Motivos Macroesquemáticos del Abric V de Pla de Petracos (Castell de Castells, Alicante). Según HERNÁNDEZ PÉREZ (2006).

1.1.1.D. ARTE ESQUEMÁTICO

El Arte Esquemático (Figura 1.4) encuentra su localización en los emplazamientos más dispares. Aparece en el interior de cuevas, compartiendo a veces espacio con el Arte Paleolítico; en abrigos de cualquier litología, coexistiendo en ocasiones con representaciones

levantinas; en paredes rocosas sin protección alguna de la intemperie; en paneles horizontales, sobre todo para manifestaciones grabadas o en el interior de los megalitos (ACOSTA 1983). Estas últimas manifestaciones que, en puridad, comparten motivos y técnicas con las representaciones parietales han sido denominadas Arte Megalítico (BUENO y DE BALBÍN 1992). Por este motivo, se lo ha considerado como una parte del más amplio fenómeno esquemático, con la particularidad de que presenta contextos arqueológicos que permiten ofrecer, a través de un estricto análisis comparativo, una aproximación a la cronología de las representaciones esquemáticas con las que se relacionan (BUENO y DE BALBÍN 1992, BUENO *et alii* 2007). La definición de Arte Megalítico incluye, además de las representaciones asimilables a las parietales esquemáticas, otros elementos como son los menhires, decorados o no, los círculos, alineamientos, grabados al aire libre, estatuas-menhir y estelas antropomorfas (BUENO y DE BALBÍN 1992), algunas de las cuales escapan a lo que, al principio de este capítulo, hemos definido como arte rupestre.

Las técnicas utilizadas en el Arte Esquemático consisten en el grabado y, sobre todo, la pintura. La técnica de grabado utiliza trazos anchos poco profundos o bien piqueteados (ACOSTA 1983). Se ha señalado la utilización de dos técnicas diferentes para la realización de grabados esquemáticos. Por una parte, la incisión, que produce surcos profundos, con su parte central ancha y, por lo general, más profunda, y un progresivo estrechamiento en los extremos que siempre son más superficiales, motivo por lo que también se los denomina grabados fusiformes (HERNÁNDEZ PÉREZ 1995). Se ha señalado la sección en V de los surcos en las zonas más profundas, aunque también los hay con incisión tenue (APARICIO PÉREZ 1977). El procedimiento de realización implica la presencia de varias incisiones, que pueden en ocasiones observarse en puntos de los lados del plano inclinado del surco, aunque en otros casos parece existir un cierto alisado del surco, colocando el instrumento grabador inclinado (HERNÁNDEZ PÉREZ 1995). Por otra parte, se constata la utilización del procedimiento del picado (repicado, piqueteado) cuyas características técnicas no están, en general, estudiadas con el suficiente detenimiento (HERNÁNDEZ PÉREZ 1995).

grosor variable, en algunos casos la mezcla de estas dos técnicas de aplicación, la utilización de trazos continuos para la delimitación de la silueta externa (muy poco frecuente), el punteado (escaso), el “grafitado” (escaso también) y la asociación de pintura y grabado (escaso asimismo) (ACOSTA 1983). Las líneas esquemáticas suelen ser gruesas, con perfiles poco definidos y que en muchas ocasiones no llegan a cubrir las irregularidades de la roca. Se trata de un trazo delimitador de la forma por sí mismo, no necesitándose por lo general de retoques posteriores. En las figuras más grandes, se utiliza también la tinta plana para complementarlos (MATEO SAURA 2001). Parece haber acuerdo en que los instrumentos utilizados para la aplicación de pintura serían fibras vegetales machacadas y, en algunos casos, los dedos (ALONSO y GRIMAL 1996), aunque también aparecen trazos cubrientes de perfiles precisos y en algún yacimiento permiten sospechar la utilización de pincel (MATEO SAURA 2001, MAS CORNELLÀ 2005).

Los colores utilizados son fundamentalmente rojos y ocre, en gamas variadas (ACOSTA 1983), el negro, que es poco frecuente pero que aparece en los paneles del interior de cuevas profundas (MÁRQUEZ ALCÁNTARA y SANCHIDRIÁN TORTI 2005) y el blanco (muy escaso). La policromía está del todo ausente en este tipo de representación parietal.

Los colores rojos se han obtenido, como en el caso de la pintura paleolítica y levantina, mayoritariamente de óxidos o hidróxidos de hierro (HOYOS *et alii* 1997, 1998, 1999, PALOMO *et alii* 2004, HERNANZ *et alii* 2006 a,b, RESANO *et alii* 2007, ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2009 b) en distintas proporciones y con distintos elementos traza asociados, lo que ha permitido delimitar en algún caso diferentes “recetas” que, a veces, son utilizadas en más de un abrigo (RESANO *et alii* 2007). Otros compuestos, como el óxido cúprico, han sido identificados como grupo cromóforo en pinturas rojas esquemáticas (PALOMO *et alii* 2004). Asociada al hierro, en el Tajo de las Figuras se detectó una importante proporción de fósforo que se encontraba ausente en áreas no pigmentadas de la pared, lo que quizá podría indicar la utilización de alguna sustancia orgánica en la composición de la pintura o bien un proceso de contaminación biológica que quedó

fijado a la pared gracias al grupo cromóforo férrico y que desapareció de la pared no pintada por lavado (HOYOS *et alii* 1996).

Para los colores negros se ha señalado el uso de carbón vegetal (HERNANZ *et alii* 2006 a), aunque no siempre ha podido ser identificada su naturaleza. Así, para muestras de la cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba), no pudo identificarse la naturaleza del pigmento negro, probablemente por la pequeñez de la muestra (HOYOS *et alii* 1999). En el caso de representaciones esquemáticas negras en cuevas, el hecho de haber sido elaboradas con carbón ha permitido su datación radiocarbónica (SANCHIDRIÁN TORTI y VALLADAS 2001).

El pigmento blanco, muy minoritario con respecto al rojo y al negro como hemos dicho más arriba, fue analizado en muestras del Tajo de las Figuras (Benalup-Casas Viejas, Cádiz), mostrando que su composición era sulfato cálcico (yeso) (HOYOS *et alii* 1996).

El tamaño de las figuras esquemáticas fluctúa entre 1 cm y 1 m, con una mayor frecuencia de motivos en torno a los 20-30 cm (ACOSTA 1983). En la composición, no son frecuentes las escenas, aunque esto no significa que no existan (MATEO SAURA 2001). Los motivos pintados corresponden con humanos, animales y signos, abarcando estos últimos un gran porcentaje de figuras dentro del repertorio esquemático (MATEO SAURA 2001). Siguiendo a P. ACOSTA (1983: 16) «...la pintura rupestre esquemática resulta la manifestación “artística” de unas formas de comportamiento que encuentran su forma de expresión básicamente a través de esquemas, pero sin cerrar tajantemente el paso a representaciones “formalistas” en mayor o menor grado...» Las figuras zoomorfas se representan de perfil, con detalles frontales como las cornamentas. La figura humana, por otra parte, se representa a menudo de frente. Destaca en la pintura Esquemática la falta de dinamismo, aunque en muchos casos se ha representado el movimiento, solo que de manera puramente convencional (ACOSTA 1983). La radical diferencia en el modo de acometer las representaciones Esquemáticas con respecto a las Levantinas ha llevado a afirmar que “...la mente que informa los

planteamientos de los pintores esquemáticos es diametralmente opuesta al espíritu general del arte levantino” (ACOSTA 1983: 17).

1.1.2. UNA INCURSIÓN, NO EXENTA DE PELIGROS, EN LA CUESTIÓN CRONOLÓGICA

Olvidándonos de manera consciente de la posible existencia de arte rupestre elaborado en el Paleolítico Inferior o Medio que ha sido postulada por algunos autores (BAHN 1994, 1996, BEDNARIK 2007, por ejemplo), pero que en el marco espacial de la Península Ibérica a día de hoy no se conoce, la tradición historiográfica que comienza con Breuil ha dividido el arte rupestre de la Península en dos compartimentos virtualmente estancos: por una parte nos encontramos con el Arte Paleolítico, es decir, aquel elaborado en el Pleistoceno por sociedades de miembros de la especie *Homo sapiens sapiens*¹ con modos de vida cazador o cazador-recolector. Por otra, el resto del arte rupestre, o arte postpaleolítico, es decir, el elaborado por sociedades con modo de vida productor a lo largo del Holoceno. En esta clásica bifurcación hay una brecha casi geológica, que separa de manera efectiva el arte del Pleistoceno del elaborado en el Holoceno; el arte de los periodos glaciales del arte de los, climatológicamente, más benignos tiempos de la etapa postglaciar en la que aún vivimos.

Los trabajos de Breuil en Altamira (BREUIL 1905, 1906, CARTAILHAC y BREUIL 1906) fueron los primeros en los que se plantearon temas relativos a una cronología del Arte Paleolítico (BERNALDO DE QUIRÓS y CABRERA VALDÉS 1994). Esta temprana seriación se basa en las superposiciones y en un concepto evolucionista unilineal que va de lo simple a lo complejo y establece cuatro etapas que reproducen su esquema de subdivisión de las industrias líticas, con las que

¹ La asociación entre el hombre moderno y las primeras industrias del Paleolítico Superior se ven, sin embargo, comprometidas por las fechas de ¹⁴C inesperadamente bajas para restos humanos asociados a un tecnocomplejo del Auriñaciense Inferior de la cueva de Vogelherd (Sudoeste de Alemania), hasta ahora considerados la mejor prueba de la asociación de *Homo sapiens sapiens* con hallazgos del Auriñaciense más temprano (CONARD *et alii* 2004).

corresponden desde el Auriñaciense al Magdaleniense (BERNALDO DE QUIRÓS y CABRERA VALDÉS 1994). El esquema se modifica posteriormente para sugerir una evolución más compleja en torno a dos ciclos diferenciados: el Auriñaco-perigordense y el Solutreo-gravetiense (BREUIL 1952). A partir del registro mobiliario y del estudio de las superposiciones, LEROI-GOURHAN (1965) establece una cronología que, en sus líneas básicas, se mantiene aún, a pesar de la gran cantidad de críticas parciales a que ha sido sometida. Su sistema se estructura en cinco períodos o Estilos: el Prefigurativo, que se corresponde con el Musteriense y el Perigordense Inferior (Chatelperroniense); el Período Primitivo, que comprende los Estilos I y II, que se corresponden cronológicamente con el Auriñaciense y con Perigordense Superior y Solutrense Inferior respectivamente; el Período Arcaico, que comprende el Estilo III, situado cronológicamente entre el Solutrense Medio y el Superior; el Período Clásico (Estilo IV Antiguo), que cronológicamente abarca el Magdaleniense Inferior y Medio; y el Tardío (Estilo IV Reciente), que emplaza en el Magdaleniense Superior. La idea que subyace en esta construcción cronológica es, de nuevo, una tendencia evolutiva de lo simple a lo complejo, basada, fundamentalmente, en las figuraciones animales. Este criterio ciertamente no se cumple cuando se trata de los signos, cuya datación no responde a un criterio claro. Con respecto a los signos cuadriláteros, Leroi-Gourhan estima que existe relación con los animales del Estilo III de Font de Gaume, al igual que entre los tectiformes y los animales de Estilo IV de la misma cueva (BERNALDO DE QUIRÓS y MINGO ÁLVAREZ 2005). La principal crítica al sistema de Leroi-Gourhan proviene de su carácter evolutivo (BERNALDO DE QUIRÓS y CABRERA VALDÉS 1994), por lo que figuraciones complejas, como las de Hohlestein-Stadel (BERNALDO DE QUIRÓS y CABRERA VALDÉS 1994) o similares de más reciente descubrimiento (CONARD 2003) para arte mobiliario; o Chauvet (CLOTTES *et alii* 1995) para el parietal, se salen estrepitosamente del marco. La variabilidad en el registro debida a la habilidad del autor tampoco se refleja en este esquema, algo que se muestra evidente cuando el registro es amplio y bien datado como el de la Cueva del Parpalló, donde más de 1000 placas grabadas se distribuyen desde el Gravetiense al Magdaleniense Inferior (VILLAVARDE BONILLA 1990, BERNALDO DE QUIRÓS y CABRERA VALDÉS 1994). Se ha señalado, por otra parte, la validez

general de la periodización de Leroi-Gourhan, basada en sólidas evidencias cronológicas, no desmentidas en la mayoría de los casos por las dataciones directas (ALCOLEA y DE BALBÍN 2007) (Tabla 1.1), señalándose que, para el área cantábrica, no hay razón para descartar el esquema cronológico tradicional, es decir, cambios de lo simple a lo complejo, con incremento a lo largo del tiempo de la complejidad formal y técnica, y el interés y capacidad para representar el volumen en los cuerpos de animales. Sin embargo, es posible admitir ligeros cambios en este esquema atendiendo sobre todo a la variabilidad sincrónica en la expresión gráfica (BICHO *et alii* 2007).

Tabla 1.1. Dataciones directas de Arte Rupestre Paleolítico (según ALCOLEA y DE BALBÍN 2007)*

Yacimiento	Muestra	Fecha radiocarbónica	Referencia
Candamo	Puntos sobre uros 15 y 16	32310±690 BP	Fortea 2000-2001
		33910±840 BP	Fortea 2000-2001
	Punto sobre uro 16	15160±90 BP	Fortea 2000-2001
	Punto sobre uro 15	15870±90 BP	Fortea 2000-2001
	Bisonte 29	22590±280 BP	Fortea 2002
	Proyecciones negras	16470±280 BP	Fortea 2000-2001
	Ciervo 2	13870±120 BP	Fortea 2002
	Uro 11	10810±100 BP	Fortea 2002
		17180±310 BP	Fortea 2002
	Trazos bajo bisonte 27	12260±100 BP	Fortea 2002
	Cierva 9	9150±140 BP	Fortea 2002
El Buxu	Conjunto XV	9139±170 BP	Fortea 2002
Tito Bustillo	Caballo 63	11140±80 BP	Balbín <i>et alii</i> 2003
	Caballo 39	11610±50 BP	Balbín <i>et alii</i> 2003
	Bisonte 3	13320±120 BP	Fortea 2002
		13210±200 BP	Fortea 2002
	Caballo 56	12490±110 BP	Fortea 2002
		12180±110 BP	Fortea 2002

		15260±230 BP	Fortea 2002
	Caballo 58	9650±100 BP	Fortea 2002
		13710±200 BP	Fortea 2002
		7440±60 BP	Fortea 2002
		14230±130 BP	Fortea 2002
	Signo 12	9940±90 BP	Fortea 2002
	Cérvido 89	7910±80 BP	Fortea 2002
El Conde	Sobre conjunto B, abajo	23930±180 BP	Fortea 2000-2001
	Sobre conjunto B, arriba	21920±150 BP	Fortea 2000-2001
Covaciella	Bisonte a la izquierda	14060±140 BP	Fortea <i>et alii</i> 1995
		13920±140 BP	Fortea <i>et alii</i> 1995
	Bisonte a la derecha	14260±130 BP	Fortea <i>et alii</i> 1995
		13710±180 BP	Fortea <i>et alii</i> 1995
Llonín	Bisonte 4	11900±110 BP	Fortea 2002
		12550±110 BP	Fortea 2002
		13260±220 BP	Fortea 2002
		13540±170 BP	Fortea 2002
	Puntos 1	10510±110 BP	Fortea 2002
		11300±150 BP	Fortea 2002
El Pindal	Ciervo 58	10070±120 BP	Fortea 2000-2001
		10300±100 BP	Fortea 2002
		10240±90 BP	Fortea 2002
Altamira	Bisonte XLIV	1040±100 BP	Fortea 2002
		13570±190 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		14410±200 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
	Bisonte XXXVI	13130±120 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
		13940±170 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		14710±200 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		14800±150 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Bisonte XXXIII	14330±190 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		14250±180 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992

		14820±130 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Línea bajo cierva 15 (IV)	14650±140 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Cierva 35 (VI)	15050±180 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Trazos negros nº 52	16480±210 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Signos nº 57 (X)	15440±200 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
El Castillo	Caballo 27/28	16980±180 BP	Moure y González Sainz 2000
		19140±230 BP	Moure y González Sainz 2000
	Cabra 56	13900±130 BP	Moure y González Sainz 2000
		14740±140 BP	Moure y González Sainz 2000
	Bisonte 19	13570±130 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
		13520±120 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
		14090±150 BP	Moure y González Sainz 2000
		13710±140 BP	Moure y González Sainz 2000
		13510±190 BP	Moure y González Sainz 2000
	Bisonte 18a	13060±200 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		13520±130 BP	Moure y González Sainz 2000
		12620±110 BP	Moure y González Sainz 2000
	Bisonte 18b	12910±180 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
	Bisonte 18c	10510±100 BP	Moure y González Sainz 2000

		11270±110 BP	Moure y González Sainz 2000
		12390±190 BP	Moure y González Sainz 2000
		10720±100 BP	Moure y González Sainz 2000
		10740±100 BP	Moure y González Sainz 2000
La Pasiega C	Cabra 67	13730±130 BP	Moure y González Sainz 2000
		13890±200 BP	Moure y González Sainz 2000
	Bisonte 88	11990±170 BP	Moure y González Sainz 2000
		12469±160 BP	Moure y González Sainz 2000
Las Chimeneas	Líneas conjunto 14	13940±140 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Ciervo 20	15070±140 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
Las Monedas	Caballo 20	11950±120 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
	Cabra 16	12170±110 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
		11630±120 BP	Moure <i>et alii</i> 1996
La Garma	Bisonte conjunto IX	13780±150 BP	González Sainz 2005
Cullalvera	Líneas IV-4	10400±90 BP	Moure y González Sainz 2000
Sotarriza	Caballo 1	8890±90 BP	Moure y González Sainz 2000
Santimamiñe	Bisonte	840±60 BP	Moure y González Sainz 2000
Ekain	Caballo I-9	11310±90 BP	González Sainz 2005
	Caballo II-45	4930±80 BP	González Sainz

			2005
		10830±150 BP	González Sainz 2005
		7630±80 BP	González Sainz 2005
	Caballo II-44	6840±80 BP	González Sainz 2005
		11760±180 BP	González Sainz 2005
		8040±80 BP	González Sainz 2005
		10960±150 BP	González Sainz 2005
	Caballo II-29	12520±100 BP	González Sainz 2005
		14440±230 BP	González Sainz 2005
Ojo Guareña	Ciervo ápodo	11470±110 BP	Bécares <i>et alii</i> 1996
	Antropomorfo	11540±100 BP	Bécares <i>et alii</i> 1996
	Antropomorfo esquemático	11130±100 BP	Bécares <i>et alii</i> 1996
		10980±160 BP	Bécares <i>et alii</i> 1996
	Ciervo negro	10950±100 BP	Bécares <i>et alii</i> 1996
Nerja	Ciervo	19900±210 BP (24280-23360 cal BP 2σ)**	Sanchidrián <i>et alii</i> 2001 **(Jordá y Aura 2008)
Pileta	Uro	20130±350 BP	Sanchidrián y Valladas 2001
Niaux	Bisonte 130	12890±160 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		12440±190 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
	Bisonte 54	13850±150 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
		13740±190 BP	Valladas <i>et alii</i> 1992
	Trazo (Panel 6)	13060±200 BP	Clottes <i>et alii</i> 1992
Le Portel	Caballo mirando a la izquierda	12180±125 BP	Clottes 1995
	Caballo mirando a la derecha	11600±150 BP	Clottes 1995

Cosquer	Mano negativa 7	27110±390 BP	Clottes y Courtin 1993
		27110±350 BP	Clottes y Courtin 1993
		26180±330 BP	Clottes y Courtin 1993
	Signo oval	28370±440 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	Mano negativa 19	27740±410 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	Bisonte 2	27350±430 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
		26250±350 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	Mano negativa 12	24840±340 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
		23150±620 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	Caballo 5	24730±300 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	Megaceros 1	19340±200 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	Cabeza de felino	19200±220 BP	Clottes y Courtin 1993
	Bisonte 1	18010±190 BP	Clottes y Courtin 1993
		18500±180 BP	Clottes y Courtin 1993
		16390±260 BP	Clottes y Courtin 1993
	Caballo 1	18840±240 BP	Clottes y Courtin 1993
		18820±310 BP	Clottes y Courtin 1993
		18760±220 BP	Clottes y Courtin 1993
	Signo en estrella	17800±160 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
	"Medusas"	14050±180 BP	Clottes <i>et alii</i> 1996
Chauvet	Rinoceronte enfrentado, izquierda	30940±610 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
	Rinoceronte enfrentado, derecha	32410±720 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
		30790±600 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001

	Uro corriendo	30230±530 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
	Caballo (Panel de los caballos)	20790±340 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
		29670±950 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
	Trazo chinesco	27130±490 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
	Megaceros	31350±620 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
	Bisonte Sala del Fondo	30340±570 BP	Valladas <i>et alii</i> 2001
Pech-Merle	Caballo puntuado	24640±390 BP	Lorblanchet <i>et alii</i> 1995
Cougnac	Megaceros macho	23610±350 BP	Valladas <i>et alii</i> 1993
		22750±390 BP	Valladas <i>et alii</i> 1993
	Megaceros hembra	19500±270 BP	Valladas <i>et alii</i> 1993
		25120±390 BP	Valladas <i>et alii</i> 1993
	Digitación (Panel VIII)	14290±180 BP	Valladas <i>et alii</i> 1993
	Digitación (Panel IX)	13810±210 BP	Valladas <i>et alii</i> 1993
Mayenne-Sciences	Caballo 15	24220±850 BP	Pigeaud <i>et alii</i> 2003
		24900±360 BP	Pigeaud <i>et alii</i> 2003

* Algunas referencias recogidas originalmente en la tabla han debido ser corregidas al ser inexactas. Se ha incluido además la calibración de la fecha del ciervo de la cueva de Nerja.

La aparente falta de continuidad en el registro rupestre entre el período final del Paleolítico Superior y el Neolítico se ha querido superar de varias maneras. Así, Breuil consideraba el Arte Levantino como de cronología paleolítica mientras Hernández Pacheco ampliaba la brecha llevando su cronología a tiempos postpaleolíticos (HERNÁNDEZ PÉREZ y MARTÍ OLIVER 2001: 242). Curiosamente, Breuil no incluyó el Arte Levantino en su síntesis de 1952 a pesar de haber expresado su parecer en muchas otras ocasiones (RIPOLL PERELLÓ 2001). La atribución epipaleolítica del Arte Levantino ha sido

defendida, por otra parte, por autores como RIPOLL PERELLÓ (2001) (Figura 1.5).

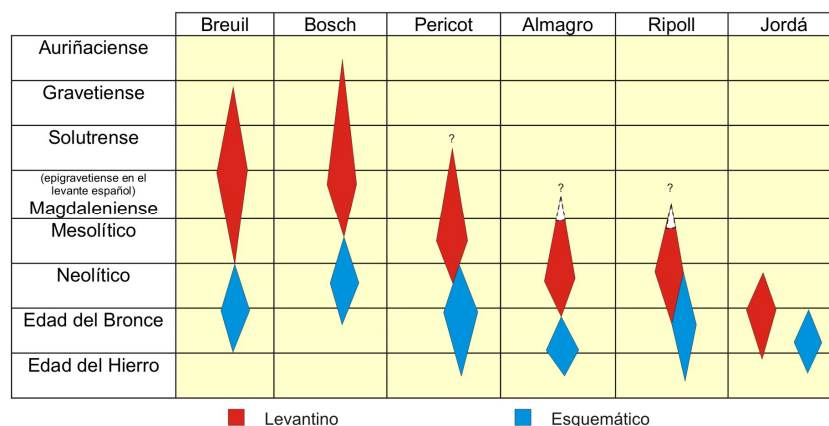


Figura 1.5. Diferentes soluciones a la cronología del arte postpaleolítico ofrecidas durante el simposio de Wartenstein (1960). Según RIPOLL PERELLÓ (2001).

Infrapuestos a algunas manifestaciones rupestres Levantinas existen determinados motivos no figurativos que se han descrito como un horizonte artístico diferente (BELTRÁN MARTÍNEZ 1987). Este arte Lineal-Geométrico (FORTEA 1974) se ha relacionado con las plaquetas grabadas de Cocina II (Dos Aguas, Valencia) que aparecen en un contexto epipaleolítico inmediatamente anterior a Cocina III, ya con cerámica cardial. La total ausencia de motivos figurativos en este conjunto hace proponer una cronología no anterior al quinto milenio para el arte Levantino (FORTEA 1974). alguna de las representaciones rupestres asimiladas a este horizonte artístico en la propuesta inicial ha sido excluida de la misma al identificarse el horizonte Macroesquemático en La Sarga (HERNÁNDEZ PÉREZ *et alii* 1988, HERNÁNDEZ PÉREZ 2005) y otros lugares. Los motivos lineales infrapuestos a motivos Levantinos en Cantos de la Visera han sido revisados por ALONSO y GRIMAL (2004), rechazándose esta posición estratigráfica y atribuyéndose los motivos lineales al Arte Esquemático. Estos mismos autores ponen en duda la superposición de Cueva de la Araña, identificando los zig-zags como esquemáticos por su técnica de ejecución (ALONSO y GRIMAL 1996). Para algunos

investigadores, como HERNÁNDEZ PÉREZ (2005, 2006) y MATEO SAURA (2002) el horizonte Lineal-Geométrico es exclusivamente mobiliario. Para esta afirmación se apoyan en la escasa semejanza entre las manifestaciones parietales atribuidas a este horizonte y las plaquetas grabadas de Cocina que detectara BARANDIARÁN (1987). Otras atribuciones a este horizonte, algunas de ellas discutidas, son las del abrigo de Los Chaparros (Albalate del Arzobispo, Teruel) (BELTRÁN MARTÍNEZ 2005), Labarta (Aldeahuesca, Huesca), Barfaluy (Lecina) y un abrigo sobre la Cueva de la Mora (Obón, Huesca) (HERNÁNDEZ PÉREZ y MARTÍ OLIVER 2001). El carácter de horizonte artístico independiente, para el arte Lineal-Geométrico, dista mucho de ser universalmente aceptado (BALDELLOU MARTÍNEZ 2006, BELTRÁN MARTÍNEZ 2001, MATEO SAURA 2002). Si bien hoy día la polémica en torno a la cronología del Arte Levantino no está ni mucho menos resuelta, la posición dominante lo entiende como expresiones gráficas de grupos humanos con modo de vida cazador-recolector, de cronología epipaleolítica (BALDELLOU MARTÍNEZ 2006), aunque quizá de cronología neolítica (HERNÁNDEZ PÉREZ y MARTÍ OLIVER 2001, HERNÁNDEZ PÉREZ 2005, 2006), como parecen indicar las superposiciones cruzadas entre arte Levantino y Esquemático y las superposiciones de Levantino sobre Macroesquemático. El problema de la existencia o no de arte rupestre epipaleolítico se complica al paralelizar algunos autores los grabados figurativos del Abric d'en Melià con una plaqueta grabada del nivel II de Sant Gregori de Falset (Tarragona) (MARTÍNEZ VALLE y GUILLEM GALATAYUD 2005), ubicado cronotipológicamente en el complejo epipaleolítico microlaminar (FORTEA 1974), anterior por tanto a las plaquetas de Cocina II. Esto les hace afirmar que "... los grabados identificados en estos conjuntos permiten plantear la hipótesis de que haya una continuidad de las manifestaciones rupestres en la primera mitad del Holoceno, sin necesidad de recurrir al horizonte gráfico levantino para el establecimiento de esta secuencia." (MARTÍNEZ VALLE y GUILLEM GALATAYUD 2005: 77)

Las primeras dataciones radiocarbónicas de pinturas levantinas se han comenzado a efectuar sólo recientemente debido sobre todo a que, como comentamos en el apartado anterior, los pigmentos utilizados son de carácter inorgánico. La posible presencia de

aglutinantes orgánicos podría aportar el carbono suficiente para acometer una datación por ^{14}C AMS, pero para ello sería necesaria una superficie de pigmento del orden de los 2 cm^2 (ALLOZA *et alii* 2010), cantidad impensable para motivos de arte rupestre en general. Por esta razón, las dataciones se están efectuando sobre pátinas de oxalatos (whewellita [$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$] y weddellita [$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fundamentalmente) que, aunque no permitan datar las pictografías de manera directa si permitirían fechar elementos anteriores y posteriores a la realización de la pintura. Las fechas publicadas en la actualidad se reseñan en la Tabla 1.2. Para el abrigo del Tío Modesto (Henarejos, Cuenca), el paquete completo de oxalatos, que incluiría con seguridad las fases pictóricas 1 a 3 (correspondientes la 1 a una serie de zig-zags, y las otras a dos escenas de caza levantinas), aunque también podría incluir la 4 y la 5 (esquemática una y posiblemente levantina la otra) se enmarcaría en el intervalo 5230-4610 cal BC 2σ (ALLOZA *et alii* 2010). Más antigua, en torno a 5980-5730 cal BC 2σ , es la datación obtenida para el gran toro levantino del Panel II de Marmalo III (Villar del Humo, Cuenca), considerado tradicionalmente por los investigadores como correspondiente a las fases más antiguas del Arte Levantino por sus grandes dimensiones.

Tabla 1.2. Dataciones radiocarbónicas de pátinas de oxalato cálcico relacionadas con motivos levantinos

Yacimiento	Muestra	Fecha radiocarbónica	Referencia
Cueva del Tío Modesto	TDM1, Fase de acreción 1, sobre la pérdida parcial del motivo 123	2800±35 BP (1050-840 cal BC 2σ)	Ruiz <i>et alii</i> 2006
	TDM2, Fase de acreción 2, zona superior derecha	6180±35 BP (5320-5010 cal BC 2σ)	Ruiz <i>et alii</i> 2006
	TDM3, Fase de acreción 2, zona superior izquierda	5855±35 BP (4800-4610 cal BC 2σ)	Ruiz <i>et alii</i> 2006
Marmalo III	M3-85, Área contigua al gran toro del Panel II	6955±45 BP (5980-5730 cal BC 2σ)	Alloza <i>et alii</i> 2010

Con respecto al Arte Macroesquemático, si bien no se han efectuado dataciones directas en esta fase estilística, su cronología se asienta sobre bases radiocarbónicas. La aparición de paralelos muebles en cerámicas impresas permiten situarlo en el Neolítico Antiguo, a partir del 6700 BP (5600 cal BC) con un límite máximo de hasta el 5500 BP (4358 - 4332 cal BC) cuando en la Cova de l'Or aparecen las primeras cerámicas esgrafiadas (HERNÁNDEZ PÉREZ 2005). En el ámbito de aparición de este horizonte artístico, las grafías levantinas se superponen a las macroesquemáticas, aportando una datación *post quem* para lo levantino. Otras manifestaciones pictóricas infrpuestas al horizonte levantino, como algunas del barranco de la Valltorta (VIÑAS *et alii* 1979), por otra parte recurrentemente corroboradas fuera de las comarcas centromeridionales levantinas (FERNÁNDEZ LÓPEZ DE PABLO 2005) se han definido como Arte Esquemático Antiguo (MARTÍNEZ VALLE y GUILLEM CALATAYUD 2005), contemporáneo del Macroesquemático pero con distribución territorial excluyente que se explica como resultado de procesos de competitividad territorial creciente en el seno de los grupos neolíticos (FERNÁNDEZ LÓPEZ DE PABLO 2005).

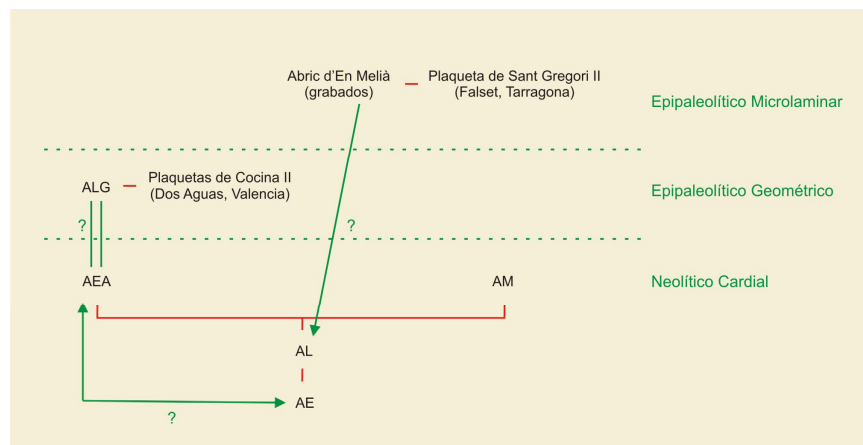


Figura 1.6. Posición cronológica de los distintos horizontes artísticos en función de paralelos y superposiciones. ALG = Arte Lineal-Geométrico; AEA = Arte Esquemático Antiguo; AM = Arte Macroesquemático; AL = Arte Levantino; AE = Arte Esquemático.

Como podemos comprobar observando la Figura 1.6, la posición cronológica del Arte Esquemático ha estado ligada a la del Arte Levantino al haberse considerado durante mucho tiempo como un apéndice de éste (HERNÁNDEZ PÉREZ 2006). A pesar de haber sido el horizonte artístico más tempranamente descrito (GÓNGORA Y MARTÍNEZ 1868) tuvo un interés secundario en la investigación hasta finales de la década de los sesenta del siglo XX (HERNÁNDEZ PÉREZ 2006). La tesis doctoral de Pilar ACOSTA (1968) supuso una revalorización del Arte Esquemático, que definía como una fusión de la tradición pictórica autóctona y de influencias próximo orientales llegadas a través del Mediterráneo y fechaba en el Bronce I (Calcolítico) a partir del análisis de los paralelos muebles de la Península y el Mediterráneo oriental (HERNÁNDEZ PÉREZ 2006).

En la década de los 80 del siglo XX comienza a hablarse de un origen autóctono, rebajándose la cronología del Arte Esquemático inicial a momentos neolíticos. Así, Carrasco y Pastor (1998: 176) consideran que “el primer gran desarrollo de la pintura [esquemática] correspondería a un Neolítico Medio de Cuevas, momento de la tipificación de las cerámicas impresas e inicios de las incisas y que, cronológicamente podemos situar entre finales del V y finales del IV milenio a.C. Un segundo gran desarrollo correspondería con la denominada fase Millares I”. El origen de algunos de los signos esquemáticos se veía en las postrimerías del Paleolítico Superior, para desarrollarse plenamente a partir del Neolítico (CARRASCO *et alii* 1985). El origen superopaleolítico del signario esquemático ha sido rechazado de manera expresa por algún autor (HERNÁNDEZ PÉREZ 2006, por ejemplo) y de manera tácita por la mayoría de los investigadores.

Si para el Arte Levantino no hay paralelos muebles aceptados de manera unánime, no ocurre lo mismo con el Arte Esquemático. De entre el amplio conjunto conocido pueden destacarse los cantos pintados de la Cueva de Chaves (Bastarás, Huesca), datados en el Neolítico Antiguo y en los que se han identificado motivos que se asocian al Arte Esquemático (UTRILLA y BALDELLOU 2001-2002). El análisis de la distribución del arte rupestre aragonés hace proponer un origen en un Neolítico Antiguo “puro” para el Arte Esquemático y

considerar el Levantino como la reacción en términos gráficos de grupos de tradición epipaleolítica en proceso de aculturación (BALDELLOU 2000, 2001). De la misma opinión es HERNÁNDEZ PÉREZ (2006: 26), para el que “el origen del AE se podría asociar, por tanto, a las primeras comunidades neolíticas de los diferentes territorios, al menos en Aragón, Comunidad Valenciana y Andalucía...”. En la actualidad se dispone de escasas dataciones directas por ^{14}C AMS efectuadas sobre figuras negras en cuevas. Es el caso de un pectiniforme de la Cueva de la Pileta, fechado en 3760 ± 60 BP, que los investigadores sitúan en el Calcolítico (SANCHIDRIÁN TORTI y VALLADAS 2001, MÁRQUEZ ALCÁNTARA y SANCHIDRIÁN TORTI 2005) y de un motivo antropomorfo cruciforme datado en 3530 ± 110 BP y una figura en forma de parrilla con fecha de 3670 ± 40 BP, ambas de la Galería del Sílex de Atapuerca (Burgos), que sus investigadores sitúan en el Bronce Inicial (GARCÍA DÍEZ *et alii* 2003). Con respecto a los grabados esquemáticos, se han llevado a cabo dataciones ^{14}C AMS en la Sala de la Fuente (Sotoscuevas, Burgos), en concreto de un tizonazo infrapuesto al motivo 12 del Panel XIII (3920 ± 50 BP), otra de un carbón que cubre el surco del motivo 45 del Panel II (3880 ± 50 BP) y un tizonazo entre los motivos 8 y 9 del Panel VIII (4920 ± 50 BP) que Gómez Barrera (2006) encuadra cronológicamente en el Calcolítico Final (Tabla 1.3).

Se anexa a la Tabla 1.3 la datación obtenida por ^{14}C AMS de pátinas de oxalato cálcico que cubren la supuesta escena levantina de domesticación de caballos del Panel II de Selva Pascuala (Villar del Humo, Cuenca) interpretado alternativamente como procedente de un contexto en el que ya se conocía la domesticación (HERNÁNDEZ PACHECO 1959) o, por el contrario, como una escena de caza (BELTRÁN 1968). El estilo de este panel lo ha situado en los momentos finales de realización de pinturas rupestres en la Sierra de las Cuerdas (RUIZ 2006), momento que LÓPEZ y SORIA (1991) sitúan alrededor del tercer milenio antes de nuestra era. Su fecha radiocarbónica se aleja de las barajadas para la pintura levantina, dato que concuerda con su peculiar estilo.

Tabla 1.3. Dataciones directas de motivos de Arte Rupestre Esquemático

Yacimiento	Muestra	Fecha radiocarbónica	Referencia
La Pileta	Pectiniforme negro	3760±60 BP	Sanchidrián y Valladas 2001
Galería del Sílex	Antropomorfo cruciforme negro	3530±110 BP	García Díez <i>et alii</i> 2003
	Motivo en parrilla negro	3670±40 BP	García Díez <i>et alii</i> 2003
Sala de la Fuente	Tizonazo bajo motivo grabado	3920±50 BP	Gómez Barrera 2006
	Carbón sobre motivo grabado	3880±50 BP	Gómez Barrera 2006
	Tizonazo entre dos motivos grabados	4920±50 BP	Gómez Barrera 2006
Selva Pascuala, Panel II	SP-84, Sobre los caballos naturalistas no levantinos	3490±160 BP (2280-1440 cal BC 2σ)	Alloza <i>et alii</i> 2010

Si bien los diferentes horizontes rupestres postpaleolíticos que hasta ahora hemos reseñado son relativamente homogéneos (quizás el menos homogéneo sea el Arte Levantino, para el que se han propuesto varias secuencias evolutivas pero que se considera producto de sociedades similares a lo largo del tiempo), cuando llegamos a la descripción del Arte Esquemático no tenemos más remedio que reconocer que se trata de un auténtico “cajón de sastre”, en el que se ha incluido todo lo que no es levantino, o macroesquemático. Así, en esta categoría se han incluido manifestaciones rupestres que se pueden rastrear en el Neolítico, pasando por la Edad del Cobre, donde coincide en motivos con los del Arte Megalítico, e incluso épocas más recientes que podrían ser incluso históricas, como es el caso de muchos abrigos con representaciones cruciformes que se han identificado con antropomorfos, pero que bien podrían tener que ver con la simbología cristiana. La característica común de este Arte Esquemático es, siendo redundante, su esquematismo. Siguiendo a ACOSTA (1968), convendría discernir cuáles de estas representaciones parietales corresponden a un fenómeno esquemático, en el sentido en el que definió este concepto en su tesis doctoral (1968): las

manifestaciones simbólicas prehistóricas postpaleolíticas (rupestres y muebles) que se expresan mediante esquemas.

Conviene aquí hacer referencia, aunque somera, a las dataciones directas efectuadas sobre motivos de Arte Megalítico que, como comentamos en el apartado anterior, en buena medida se relaciona con el Esquemático, si no constituye un caso particular del mismo, aunque algunos elementos tipológicos, como la aparición de elementos geométricos repetitivos (BUENO y DE BALBÍN 2006) aconsejen tratarlo de forma separada.

Tabla 1.4. Dataciones directas de motivos pintados de Arte Megalítico (a partir de CARRERA y FÁBREGAS 2006 y BUENO y DE BALBÍN 2006)

Yacimiento	Muestra	Fecha radiocarbónica	Referencia
Pedra Moura	M1. Pigmento negro y revoco, losa L2	4980±70 BP (3960-3640 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Casota do Páramo	M2. Pigmento negro y revoco, losa C1	4740±120 BP (3800-3100 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Pedra Cuberta	M3. Pigmento negro, losa L2	5010±60 BP (3960-3690 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Monte dos Marxos	M4. Pigmento negro, losa O.7	5330±80 BP (4340-3980 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
	M5. Pigmento negro, losa O.7	4960±60 BP (3810-3630 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Forno dos Mouros	M6. Pigmento negro y revoco, losa C1	4900±60 BP (3800-3620 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Anta de Serramo	M7. Pigmento negro y revoco, losa C1	6050±110 BP (5300-4700 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Coto dos Mouros	M10. Pigmento negro, losa C4	3830±60 BP (2490-2130 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
	M11. Pigmento negro, losa C4	5540±70 BP (4540-4240 cal BC 2σ)	Carrera y Fábregas (2006)
Antelas		4655±65 BP (3650-3300 cal BC 2σ)*	Da Cruz (1995) *Carrera y Fábregas (2006)

1.1.3. DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DEL ARTE RUPESTRE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Como hemos comentado en apartados anteriores de este capítulo, los diferentes horizontes artísticos componen un complejo conjunto de realidades tanto desde el punto de vista cronotipológico como desde el punto de vista social, si atendemos a las características de los grupos humanos que los produjeron. Así, la larga secuencia del Arte Paleolítico encuentra una distribución amplia en toda la Península que sitúa las concentraciones más elevadas en la Cornisa Cantábrica, sobre todo en el ámbito de las actuales Comunidades Autónomas de Asturias, Cantabria y País Vasco, mientras que la densidad de yacimientos en otras zonas de la Península es bastante menor (Figura 1.7).

Como ya se ha comentado, la mayoría de los conjuntos con arte rupestre Paleolítico se sitúan en cuevas (FORTEA 2005, 2008), pero este tipo de localizaciones puede corresponder, más que a un patrón, a cuestiones de conservación diferencial de los yacimientos, o bien a la orientación de las investigaciones, que han tendido a buscar el arte paleolítico en contextos calizos, ricos en cavidades kársticas, obviando otras posibles localizaciones. Así, en los últimos años se ha ampliado el concepto del arte rupestre Paleolítico desde el punto de vista de la ocupación simbólica del territorio, al descubrirse arte rupestre Paleolítico al aire libre en varias localizaciones (conjunto de yacimientos de Foz Côa, Siega Verde, Domingo García, Molino Manzániz o Piedras Blancas) y realizado sobre litotipos distintos del calizo, como las rocas metamórficas. La aparición de arte rupestre Paleolítico en abrigos o cuevas someras como los de Andalucía (provincia de Cádiz, en la que la litología es fundamentalmente silíceo), o el de Aragón (Fuente del Trucho) muestra una realidad mucho más compleja que la prevista a priori, y en cierto modo nos vaticina el descubrimiento de nuevos yacimientos en áreas hasta el momento consideradas marginales desde el punto de vista de la distribución del arte rupestre Paleolítico.

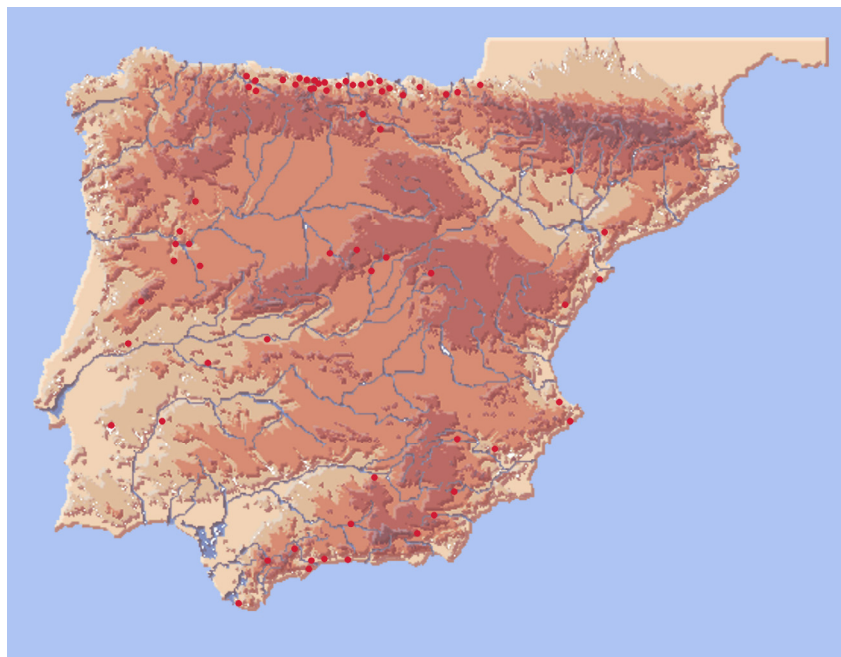


Figura 1.7. Mapa de distribución de los yacimientos con Arte Rupestre Paleolítico en la Península Ibérica. Fuente: FORTEA (2005).

Como se intuye en esta breve presentación, el Arte Paleolítico no es un ente monolítico, sino un conjunto de realidades, emparentadas entre sí, y realizadas a lo largo de un extenso período de tiempo, por lo que, en cuanto toca a su distribución espacial, debemos tener presente la cronología de las manifestaciones. Así, en algunas áreas existe la secuencia completa para el Paleolítico Superior, independientemente de que ésta se verifique o no en un determinado yacimiento. Este es el caso de la Cornisa Cantábrica. En otras, como Andalucía sudoriental, parece haber expresiones que van de los primeros tiempos al Solutrense, estando ausentes las representaciones Magdalenienenses. En otras áreas, como es el caso de las mesetas, probablemente el registro arqueológico que barajamos sea muy parcial, por lo que toda interpretación poblacional que intentemos corre el riesgo de ser muy sesgada. Algunas síntesis recientes sobre el Arte Paleolítico peninsular, a las que remitimos, pueden ser ilustrativas (BICHO *et alii* 2007, ALCOLEA y DE BALBÍN 2007).

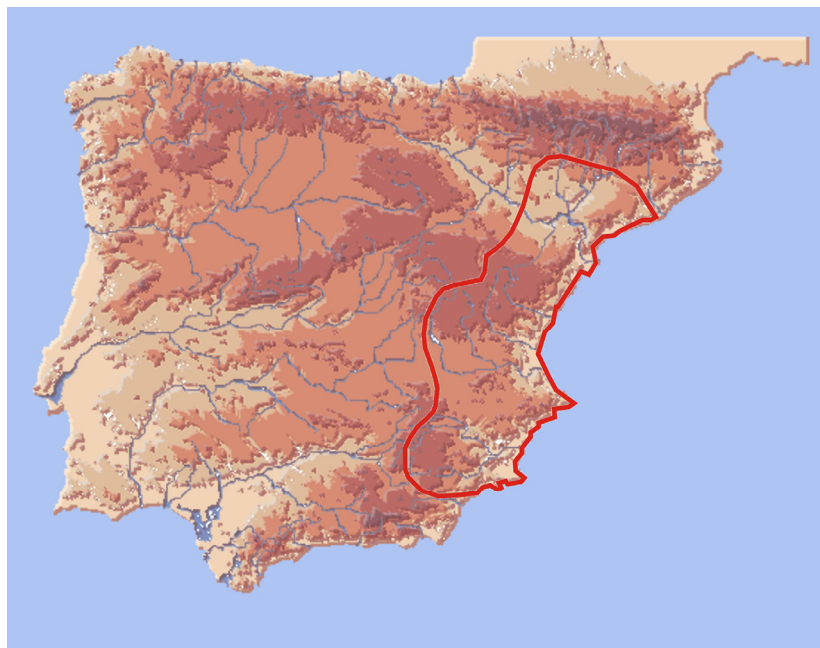


Figura 1.8. Extensión de la distribución territorial del horizonte artístico Levantino en la Península Ibérica. Fuente: a partir de MARTÍNEZ GARCÍA (2002).

El Arte Levantino se emplaza en prácticamente todo el área oriental de la Península, ocupando no sólo áreas topográficamente altas e interiores como los primeros descubrimientos hacían pensar, sino también en cotas más bajas y con mayor cercanía a la costa (Figura 1.8). Las pinturas se emplazan en abrigos someros, en relación con cauces fluviales secundarios (en general, afluentes de la red principal de drenaje) en un área que se extiende desde Huesca, en el Norte, a Jaén y Almería, en el Sur, abarcando total o parcialmente, las comunidades autónomas de Cataluña, Aragón, Valencia, Castilla La Mancha, Murcia y Andalucía. En este amplio territorio, la distribución de los yacimientos es muy desigual, existiendo núcleos con máximas concentraciones muy localizadas y zonas con sólo unos pocos abrigos pintados, lo que hace pensar en que su prospección se ha efectuado con diferente intensidad en algunas áreas con respecto a otras, reflejándose esta circunstancia en el conjunto de yacimientos levantinos conocidos, más que corresponder a auténticos patrones

espaciales de ocupación simbólica del territorio (SANCHIDRIÁN TORTI 2001: 411). En función de sus características, se han establecido dos áreas fundamentales, separadas por el río Júcar (RUBIO 1995) o tres regiones levantinas diferenciadas de Norte a Sur (SANCHIDRIÁN TORTI 2001).

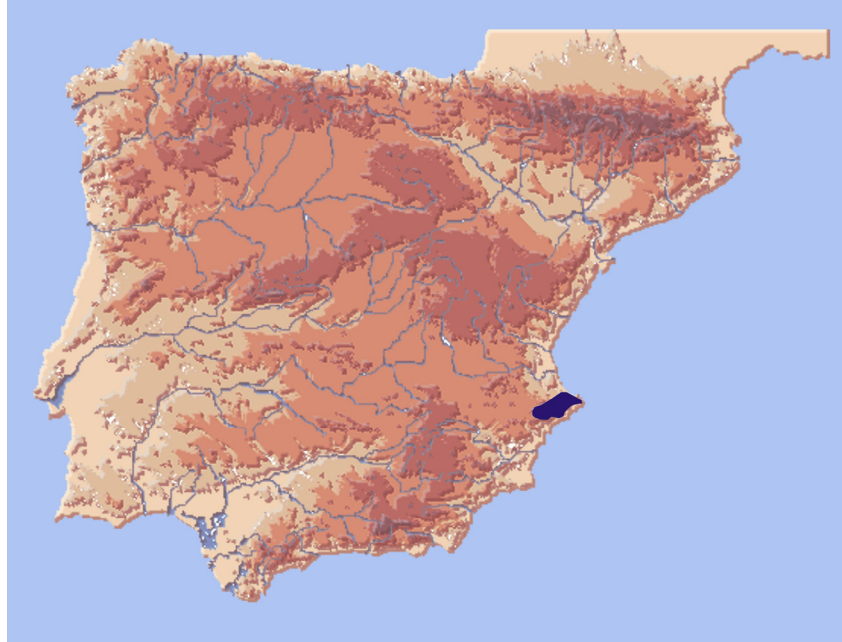


Figura 1.9. Área de distribución de las manifestaciones rupestres Macroesquemáticas. Fuente: a partir de MARTÍNEZ GARCÍA (2002).

El horizonte Macroesquemático es, de todos los que hemos individualizado en esta breve relación, el que encuentra una distribución geográfica más restringida (Figura 1.9), circunscribiéndose a una pequeña zona del Norte de la provincia de Alicante y ocupando un número limitado de abrigos, en ocasiones coexistiendo con motivos levantinos. Se trata de pequeños abrigos calcáreos más o menos someros, bien iluminados por la luz diurna y situados en los cauces fluviales interiores de las sierras alicantinas. Los motivos, situados por lo general en la zona más destacada del

abrigo, son bien visibles desde el exterior, lo que ha llevado a postular, en relación al tamaño de las figuras, que se trata de un arte hecho para ser observado desde lejos. Consecuentemente con la atribución cronológica que de este horizonte artístico se ha hecho, su distribución geográfica se centra en el sector de la península con mayor concentración de yacimientos, y también más antiguos, de Neolítico Cardial (SANCHIDRIÁN TORTI 2001: 379). Este hecho y la particularidad de que los grandes antropomorfos se sitúan en los límites externos del área ocupada por estas representaciones parietales, han hecho pensar en una cierta demarcación del territorio de los primeros campesinos con respecto a las comunidades circundantes no neolitizadas (SANCHIDRIÁN TORTI 2001: 379-380).

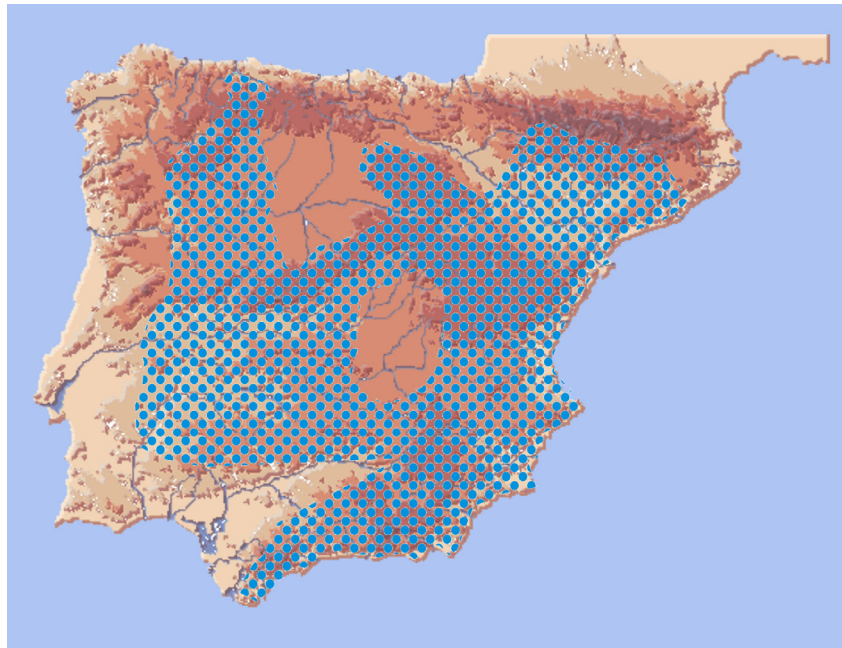


Figura 1.10. Zonas en las que aparece Arte Rupestre Esquemático en la Península. Fuente: a partir de MARTÍNEZ GARCÍA (2002).

La distribución en la Península de las representaciones clasificadas como esquemáticas da cuenta del carácter de “cajón de sastre” que se le atribuye a este horizonte artístico. En efecto, el Arte

Esquemático aparece en todo tipo de localizaciones y prácticamente en toda la Península Ibérica, aunque de nuevo existen zonas con gran concentración de testimonios esquemáticos frente a provincias en las que no aparece ninguno. Con respecto a su emplazamiento, aparece mayoritariamente en abrigos, pero también en paredes desprotegidas y superficies rocosas horizontales, en los ortostatos de construcciones megalíticas o en el interior de cuevas, a veces compartiendo espacio con representaciones paleolíticas. Las manifestaciones esquemáticas se localizan desde zonas costeras a zonas con difícil acceso en partes altas de sierras, e incluso en localizaciones tan extrañas como pequeñas oquedades al aire libre, donde apenas cabe medio cuerpo. Además de la pintura esquemática típica, las manifestaciones esquemáticas han recibido nombres distintos en función de su tipología y lugar de aparición. Así, se habla de Arte Megalítico, por los grabados y pinturas que aparecen en este tipo de construcciones; de Arte Esquemático Negro Subterráneo, pintado en cavidades kársticas distribuidas por las provincias de Granada, Córdoba y Málaga; Arte Esquemático Abstracto, que incluye pinturas y grabados emplazados también en cuevas y distribuidos por el área centro-Norte de la Península; o manifestaciones exclusivamente grabadas, situadas en emplazamientos al aire libre, como los Petroglifos Gallegos o el Grupo de grabados del Tajo-Guadiana.

1.1.4. SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE AGLUTINANTES EN LAS PINTURAS RUPESTRES

Cualquier pintura, también la rupestre, consta de dos componentes básicos: Por una parte, el pigmento, responsable de aportar el color a la misma y por otra, el aglutinante o vehículo, definido como “sustancia en la que se diluyen los pigmentos para preparar barnices o pinturas” (R.A.E.). Como hemos visto más arriba, en los últimos años se han realizado estudios para la caracterización de los pigmentos utilizados en pinturas rupestres, tanto paleolíticas (MENU y WALTER 1992, HOYOS *et alii* 1999, SMITH *et alii* 1999, GUINEAU *et alii* 2001, CHALMIN *et alii* 2004 a,b, 2006 a,b, GÁRATE *et alii* 2004, VIGNAUD *et alii* 2006), como levantinas (RIPOLL 1961, MONTES y CABRERA 1991-1992, HERNANZ *et alii* 2006 b, ROLDÁN *et alii* 2007), esquemáticas

(HOYOS *et alii* 1996, 1997, 1998, 1999, PALOMO *et alii* 2004, HERNANZ *et alii* 2006 a,b, RESANO *et alii* 2007, ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2009 b) y megalíticas (BELLO y CARRERA 1997, CARRERA *et alii* 2006) obteniéndose,

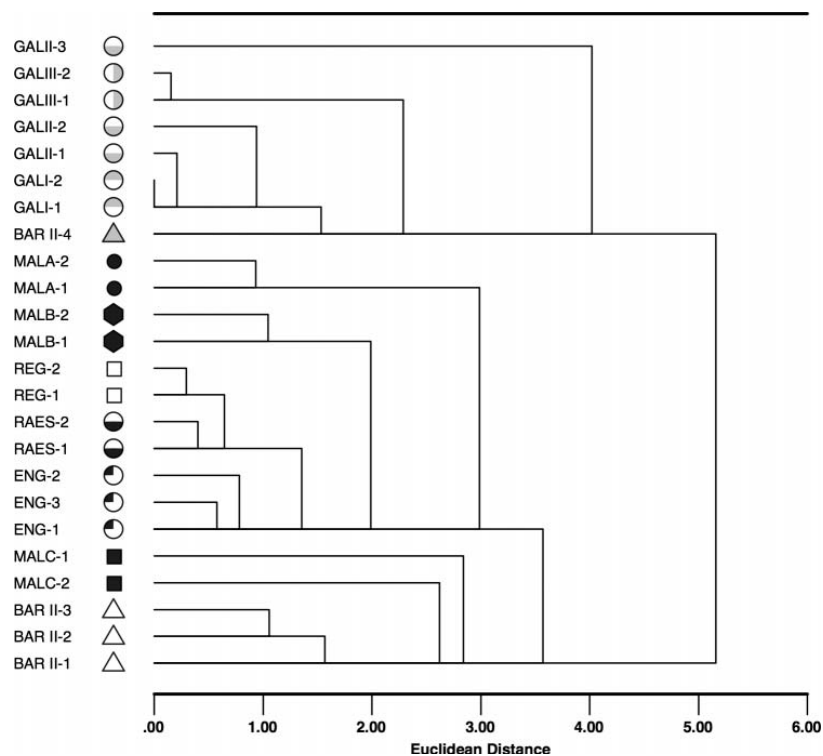


Figura 1.11. Dendrograma que muestra la similitud entre los pigmentos de distintos abrigos de Aragón en función de elementos correlacionados con el Fe (As, Co, Mo, Sb, Ti, Zr), normalizados en función de su contenido con respecto al Fe. (BAR II: Barfaluy, ENG: Coveta de l'Engardaixo, GAL I: Gallinero I, GAL II: Gallinero II, GAL III: Gallinero III, MALA: Tozal de Mallata, MALB: Mallata B, MALC: Mallata C, RAES: La Raja E, REG: Cueva de Regacens) Fuente: RESANO *et alii* 2007.

en general, buenos resultados en la caracterización de los grupos cromóforos, que, según las analíticas efectuadas, resultan ser sustancias de naturaleza inorgánica que, en los casos en los que se ha podido emplear técnicas analíticas con gran resolución como la ablación láser con plasma inducido acoplado a espectrómetro de

masas (LA-ICP/MS) (RESANO *et alii* 2007, ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2009 b) pueden diferenciarse en función de elementos traza e identificarse así “recetas” pictóricas que a veces se repiten en más de un abrigo (es el caso de una figura del abrigo de Barfaluy II y las del abrigo de Gallinero, en Bárcabo, Huesca) (Figura 1.11).

Con respecto a la naturaleza de los aglutinantes empleados en la elaboración de la pintura, no obstante, los trabajos emprendidos han sido escasos, o al menos lo han sido los resultados publicados. Así, el trabajo de PEPE *et alii* (1991) para la caracterización del aglutinante de dos muestras de pinturas paleolíticas de Fontanet (Ariège, Francia), permitió comprobar la ausencia de esteroides, y que entre los ácidos grasos, tan sólo estaban presentes los de cadena corta, entre 14 y 18 átomos de C, predominando el ácido palmítico ($C_{16:0}$), el oleico ($C_{18:1\omega9}$) y el esteárico ($C_{18:0}$), seguidos en importancia por el linoleico ($C_{18:2}$) y el mirístico ($C_{14:0}$), datos en los que se basan los autores para concluir que la naturaleza del aglutinante es oleosa. Un estudio más reciente sobre la naturaleza del aglutinante en pinturas del dolmen de Dombate (BELLO y CARRERA 1997) realizado tanto sobre el soporte como sobre la pintura reveló la ausencia de compuestos proteínicos o polisacáridos, detectándose un alto contenido en ácidos grasos que se atribuyó en principio a biodeterioro, aunque acabó concluyéndose que “...la grasa utilizada como aglutinante es muy probablemente una mantequilla de vaca, dados los valores encontrados para los ácidos mirístico y palmitoleico...” (BELLO y CARRERA 1997: 824). Se señala en este trabajo la presencia de este aglutinante “...tanto en muestras de pintura roja como de revoco de caolín, e incluso de una muestra de argamasa del que se ha interpretado como pavimento original del interior de la cámara” (BELLO y CARRERA 1997: 824). La identificación de la mantequilla de vaca como aglutinante de las pinturas megalíticas de Dombate permite a los autores hablar del “panorama que sugiere, con una ganadería de vacuno con el suficiente desarrollo como para aplicar en actividades constructivas y simbólicas considerables cantidades de un producto secundario cual es la mantequilla, no se corresponde bien con las ideas de arcaísmo retardatario que algunos autores venían manteniendo hasta hace no tantos años. Antes al contrario, nos ponen en evidencia el fuerte dinamismo de las poblaciones

constructoras del megalitismo, que han alcanzado buenas cotas de desarrollo y probablemente de complejidad en la primera mitad del IV milenio cal BC" (BELLO y CARRERA 1997: 824). Estas afirmaciones han encontrado un cierto eco: en algún caso poniendo de relieve la posibilidad que se abre para datar por ^{14}C AMS los compuestos orgánicos asociados a pinturas distintas a las que utilizan como pigmento el carbón vegetal (BUENO *et alii* 2007), y en otras publicaciones como apoyo al concepto de "revolución de los productos secundarios" (CARRERA 2002, BUENO y DE BALBÍN 2006) que definiera SHERRAT (1981).

Recientes estudios sobre muestras de arte rupestre norteamericano han permitido la detección de ácidos grasos de cadena media y larga ($\text{C}_{12:0}$, $\text{C}_{16:0}$, $\text{C}_{17:0}$, $\text{C}_{18:0}$, $\text{C}_{19:0}$) en pátinas de oxalato y muestras de pigmento. La comparación con muestras pétreas de zonas cercanas pero sin arte rupestre permitió afirmar que las cantidades de $\text{C}_{16:0}$ y $\text{C}_{18:0}$ (ácidos palmítico y esteárico) en ambos tipos de muestra no presentaban diferencias estadísticamente significativas, por lo que los ácidos grasos encontrados deberían ser atribuidos a la actividad microbiana sobre las superficies pétreas (SPADES y RUSS 2005). En este trabajo se señala la identificación y cultivo de cinco especies del género *Bacillus* en estas mismas pátinas de oxalatos (HESS 2004, citado en SPADES y RUSS 2005). Hay que resaltar aquí que la mayoría de las especies bacterianas no son cultivables con los medios estándares de laboratorio, por lo que las especies cultivadas con métodos de microbiología clásica no tienen por qué ser significativas con respecto a la biodiversidad total, como por otra parte demuestran los estudios llevados a cabo mediante técnicas de biología molecular (LAIZ *et alii* 2003).

Los ácidos grasos son moléculas orgánicas de naturaleza lipídica compuestos por una cadena hidrocarbonada lineal en uno de cuyos extremos se encuentra un grupo carboxilo. Los diferentes átomos de C se unen entre sí mediante un enlace covalente, sencillo o doble. Estas moléculas se encuentran en todos los organismos, formando parte de los glucolípidos y fosfolípidos que constituyen todas las membranas celulares. Las funciones que los ácidos grasos cumplen en los organismos son de tres tipos: energética, estructural y

reguladora. Se trata de moléculas muy energéticas y necesarias en todos los procesos celulares aeróbicos, ya que por su contenido en hidrógenos pueden oxidarse en mayor medida que los glúcidos u otros compuestos orgánicos que no están reducidos. La gran cantidad de energía almacenada en los enlaces covalentes convierten a estas moléculas en una fuente de energía muy apreciable para gran cantidad de organismos, entre los que se encuentra una amplia gama de microorganismos que pueden utilizarlos como fuente de C. Por esta razón, la degradación de los ácidos grasos en condiciones normales es bastante rápida. La degradación de los ácidos grasos se conoce como fermentación butírica, ya que, mediante hidrólisis se forma este ácido graso monocarboxílico (que se detecta en la mantequilla rancia, en el queso parmesano, en los vómitos o en el olor corporal) que puede degradarse químicamente o mediante la acción de microorganismos anaerobios estrictos. Así, la supervivencia de ácidos grasos a lo largo de períodos de tiempo como los descritos más arriba, parece difícil a no ser que esos ácidos grasos se encuentren “secuestrados” de manera que no puedan exponerse a la degradación por microorganismos aeróbicos, como por ejemplo inmersos en un ambiente anóxico como las turberas o inserto en una materia protectora como el ámbar. Dada su difícil supervivencia sin degradar, para explicar la presencia de ácidos grasos de cadena larga (de 16 C en adelante) o media (que incluiría los de 14 C) en muestras de arte rupestre, debería pensarse en una fuente alternativa de ácidos grasos. Esta fuente alternativa debe ser investigada, aunque en la mayoría de los casos cabe la sospecha de que esté relacionada con los microorganismos que colonizan la superficie decorada. Apoyando esta explicación podemos encontrar los resultados de SCHABEREITER-GURTNER *et alii* (2002 a), que en una muestra de pigmento rojo de la Sala de Polícromos de la cueva de Altamira detectaron mediante métodos moleculares una amplia comunidad bacteriana que la colonizaba.

La presencia de ácidos grasos en muestras ambientales, pertenecientes o no al patrimonio histórico, es un hecho ampliamente constatado. Así, en un estudio reciente (AIRA *et alii* 2007) se estudiaron costras de diferentes edificios y monumentos de Galicia, encontrándose en muchas de ellas porcentajes altos de

ácidos grasos de cadena larga como el palmítico, linoleico, oleico y $C_{18:0}$ anteiso, además porcentajes significativos (mayores del 1%) de otros ácidos grasos, tanto saturados como insaturados y de cadena ramificada, que permitieron diferenciar entre pátinas de origen biológico y otras originadas por otras causas. Los ácidos grasos de cadena corta se encuentran en todas las especies bacterianas, además de hongos, levaduras y algas, por lo que el perfil de ácidos grasos de las paredes celulares permite la identificación de bacterias (LECHEVALIER 1977). Entre otros, los ácidos mirístico y palmitoleico aparecen en las paredes celulares de las bacterias Gram+ (CHO y SALTON 1964), o cianobacterias como *Nostoc* en la que el ácido palmitoleico ocupa un porcentaje importante de los ácidos grasos de sus paredes celulares (LIU *et alii* 2005), porcentajes no diferentes de los encontrados en la composición de la mantequilla de vaca (RADY y BADR 2003). Por otra parte, la presencia de ácidos grasos de cadena corta se ha utilizado para demostrar el origen biótico de costras en monumentos tan diversos como el convento de San Martín Pinario en Santiago de Compostela o petroglifos de Campo Lameiro (AIRA *et alii* 2007). En estas costras a menudo están presentes de manera significativa estos ácidos grasos, cuya proporción está en relación directa con la composición de las comunidades microbianas que componen los *biofilms*.

Si bien existe la posibilidad de detectar, y por lo tanto caracterizar, el posible aglutinante graso utilizado en una pintura rupestre, los resultados de dicha caracterización serán dudosos si no se tiene en cuenta la presencia de otras posibles fuentes de ácidos grasos. La utilización de muestras de control y la caracterización de las comunidades microbianas presentes en las áreas de muestreo se convierten en tarea clave si queremos dilucidar el origen de los ácidos grasos que se están detectando.

1.2. FACTORES DE DETERIORO DEL ARTE RUPESTRE

Como ya se comentó al inicio de este capítulo, el arte parietal no es un conjunto de entidades aisladas en el tiempo y el espacio. Por el contrario, las manifestaciones rupestres se realizaron con unas

técnicas diferenciadas, con una motivación o funcionalidad específicas, en un espacio físico elegido barajando una serie de factores que por lo general desconocemos, sobre una superficie soporte determinada, con unas condiciones ambientales concretas y, por último pero no por ello menos importante, en un momento histórico preciso. Las circunstancias técnicas, espaciales, litológicas, ambientales y cronológicas, independientemente de las características tipológicas de los motivos, cobran una importancia especial que aumenta con el paso del tiempo. Éstas, que podrían ser las premisas que determinaran el “estado inicial” de una elaboración rupestre cualquiera, no son por lo general las que han perdurado hasta nuestros días. Por el contrario, las condiciones (sobre todo las ambientales) no solo no han permanecido constantes sino que han sufrido variaciones, a menudo importantes, a lo largo del tiempo. En cierto modo, la conservación de estas manifestaciones culturales tiene mucho que ver con lo mucho o poco que hayan cambiado las condiciones ambientales de su emplazamiento con respecto al estado inicial, es decir, con respecto a las condiciones que primaban cuando estas se realizaron.

Cada una de las localizaciones en las que existe arte rupestre constituye un sistema natural complejo, en el que, además de las interacciones entre la roca, el agua y el aire, intervienen en su estabilidad otros factores como la cohesión de los pigmentos utilizados, la propia composición de los mismos, en su caso la técnica de realización de los grabados, la existencia de comunidades vivas sobre o en la roca soporte y las características de las poblaciones que las componen, además de la incidencia de las acciones antrópicas, no siempre efectuadas de manera consciente y por ello no siempre consideradas en su verdadera medida (Figura 1.12). Entendemos como sistema natural al conjunto de partes interdependientes y relacionadas entre sí, que posee una estructura que viene dada por el conjunto de relaciones no fortuitas que unen cada una de las partes y el todo.

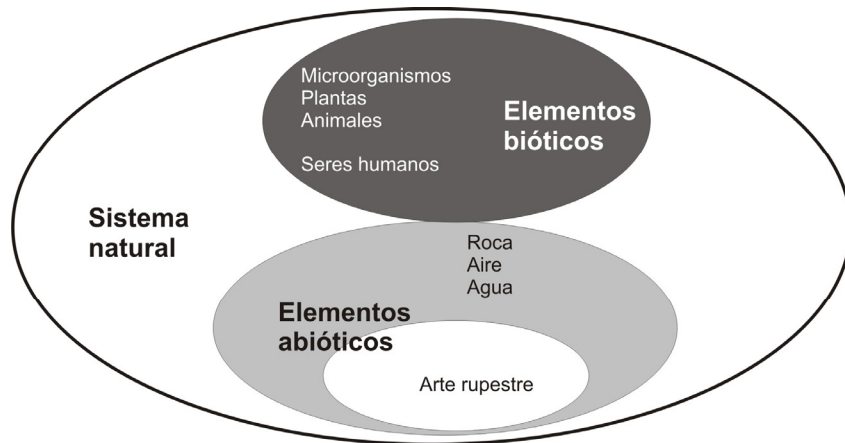


Figura 1.12. Las representaciones parietales pueden describirse como uno más de los elementos abióticos del sistema natural en el que se insertan.

Cualquier sistema mantiene una pugna entre dos tendencias enfrentadas: por una parte, la entrópica, la tendencia del sistema a la desintegración, que es función del tiempo como se expresa en el Segundo Principio de la Termodinámica. Por otra, la homeostática, es decir, la tendencia a alcanzar un equilibrio dinámico entre las distintas partes del sistema, o dicho de otro modo, la tendencia al mantenimiento del mismo.

Entender las manifestaciones rupestres como parte (subsistema) integrante de un sistema más complejo implica comprender que las partes del sistema no pueden conservarse de manera independiente, sino que son la estructura y las sinergias que se generan las responsables de su mantenimiento. Este enfoque holístico es de crucial importancia a la hora de entender la documentación como una herramienta de conservación. Si queremos comprender el funcionamiento del sistema deberemos intentar conocer cada uno de sus elementos, delimitar su dimensión espacial, averiguar las relaciones que mantienen los diversos elementos entre sí y documentar todo ello de la manera más extensiva posible.

Todo sistema natural está compuesto por una parte viva (biótica) y otra no viva (abiótica) (KORMONDY 1969). Los elementos

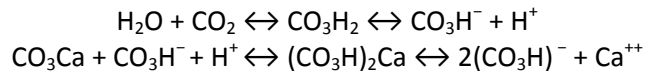
constituyentes de la parte abiótica del sistema son la materia orgánica y subproductos de la actividad orgánica más elementos inorgánicos como el agua y otros compuestos minerales. A estos elementos se suman una serie de factores físicos y gradientes, tales como la temperatura, la radiación solar, la humedad o los vientos. Estos últimos factores intervienen en la meteorización, que se define como “las modificaciones químicas y mineralógicas de diferentes tipos de rocas y minerales en la biosfera, que incluyen esencialmente procesos de solubilización de elementos minerales importantes (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, Na, Ti) de silicatos, óxidos, fosfatos, carbonatos y sulfatos” (BERTHELIN 1983: 223).

La parte biótica cobra un papel fundamental en los sistemas naturales, siendo para algunos autores la responsable de la homeostasis del sistema (LOVELOCK 1979, KRUMBEIN 1983). Así, los organismos vivos, y en especial los microorganismos, tienen un papel muy relevante en los procesos geológicos que conllevan la formación y disolución de minerales (BERTHELIN 1983).

En efecto, la actividad de los microorganismos, especialmente los autótrofos, implica la oxidación de grandes cantidades de compuestos inorgánicos, y están directamente (por medio de procesos enzimáticos) o indirectamente (procesos no enzimáticos relacionados con productos de su metabolismo) implicados en la transformación de minerales (BERTHELIN 1983). Asimismo se ha señalado que los microorganismos pueden influir en varios procesos geológicos como la litificación (producción de sustancias inorgánicas que enlazan las partículas de sedimento entre sí), la formación de minerales autigénicos (facilitando la precipitación de sustancias inorgánicas), la diagénesis mineral (transformación de minerales primarios en secundarios), o la sedimentación de origen biológico (como la acumulación de carbonato cálcico procedente de caparazones de foraminíferos, por ejemplo). La erosión eólica y la debida al agua pueden también facilitarse por la previa actividad de los microorganismos (EHRlich 1981).

La parte abiótica de los sistemas naturales está lejos de ser potencialmente inocua para la conservación de las manifestaciones

rupestres. El agua, que puede aparecer como agua higroscópica, como agua pelicular, capilar o gravítica, es un elemento fundamental para el desarrollo de los organismos vivos. Por otra parte, el agua es vehículo de sustancias disueltas que pueden constituirse en elementos deteriorantes. Así, la conocida reacción entre el agua cargada de dióxido de carbono en disolución y el carbonato cálcico está en el origen del modelado kárstico al facilitar la disolución de la rocas carbonatadas, de otro modo insolubles en agua:



La propia acción disolvente del agua posibilita la solubilización y transporte de iones que pueden migrar hacia la superficie de la roca donde acabarán precipitando al evaporarse el agua que los transporta, ocasionando los cristales roturas en la película pictórica y costras que pueden ocultar pinturas y grabados (BENITO *et alii* 1993).

El agua disociada en H^+ y OH^- , por otra parte, se incorpora a la estructura de los minerales silíceos produciendo hidrólisis, o lo que es lo mismo, la disgregación de la red interna del mineral mediante la sustitución de cationes básicos de Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} por H^+ , seguido de la sustitución del Fe y el Al (FITZPATRICK 1985). En los feldespatos, en particular, el resultado final de este proceso es la caolinización, es decir, la transformación total de los mismos en caolín y otras arcillas.

El gradiente térmico es responsable de otro tipo de meteorización, la meteorización mecánica. Su causa principal son las variaciones de temperatura, que en latitudes medias y altas inducen procesos de gelifracción debidos a la acción continuada de la congelación y el deshielo del agua presente en su superficie. A partir de juntas de estratificación o de fracturas de esfuerzo mecánico presentes en las rocas, el agua se hiela, aumentando de volumen, mientras que la roca se contrae. Al subir la temperatura, el hielo se funde y la roca se dilata. El resultado de la continuada repetición de este proceso es la fragmentación de la roca. En zonas cálidas, con gran amplitud térmica, se produce un fenómeno análogo al haber marcadas diferencias de temperatura entre el día y la noche. En este caso, la

fragmentación se produce por la repetida dilatación y contracción de la roca.

La diferente composición de los pigmentos empleados para la elaboración de pinturas rupestres produce tonos con distintos albedos. Al exponerse directamente a la radiación solar se producen diferentes comportamientos térmicos que pueden incidir en el deterioro de la capa pictórica (HALL *et alii* 2007). En determinadas circunstancias, los componentes con un mayor albedo pueden incluso alcanzar mayores temperaturas que los tonos más oscuros y experimentar fluctuaciones mayores de temperatura (HALL *et alii* 2005, 2007), produciéndose situaciones de *stress* térmico perjudiciales para la conservación. Además del deterioro térmico, se han señalado como otros procesos causados por la insolación directa la degradación fótica y la inducción de procesos de capilaridad (DÍEZ HERRERO *et alii* 2006) que generan la aparición de eflorescencias, costras y otras patologías superficiales y subsuperficiales. En otro estudio, las sinergias inherentes a la confluencia de insolación y humedad han sido señaladas como importantes factores de deterioro de la piedra (WEISS *et alii* 2004).

El viento, por otra parte relacionado también con el gradiente térmico, es un importante agente erosivo. Las partículas sueltas transportadas por el viento (tanto mayores cuanto más energía tenga el chorro de aire) producen la abrasión de las rocas. Según su textura previa, las rocas sufrirán una erosión de tipo alveolar (las rocas de textura granulosa), o el pulido (rocas de textura homogénea, como las calizas).

Pero quizá el principal agente erosivo de tipo mecánico sea el agua en movimiento. La erosión pluvial, originada por la precipitación de agua líquida, es uno de los más importantes agentes disgregantes de las partículas de las superficies. Las gotas, al caer sobre la superficie, le transmiten su energía cinética (Figura 1.13), ocasionándose un efecto de cizallamiento que suelta y desplaza pequeñas partículas de la misma (TRICART 1981). Estas partículas se acumulan en los poros, taponándolos y favoreciendo que se forme una película acuosa sobre la que resbalará el agua de arroyada, que arrastrará a su vez muchas

de las partículas arrancadas por el impacto de las gotas, lavando la superficie.

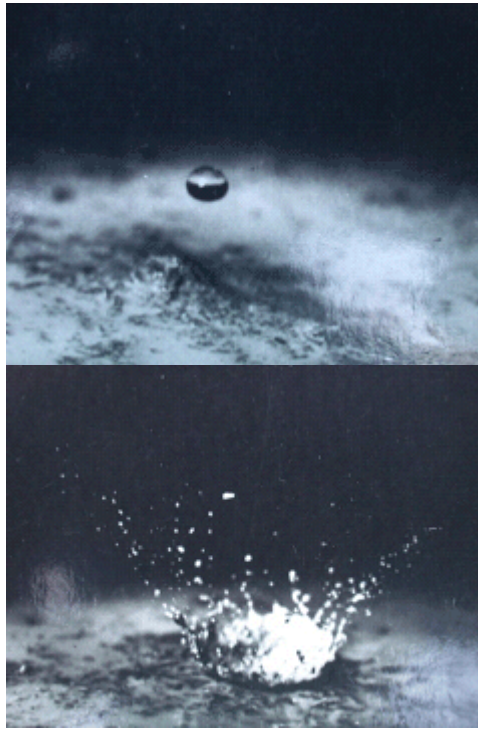


Figura 1.13. Fotografía del impacto de una gota de lluvia sobre un suelo. El choque produce la dispersión de fragmentos y agua alrededor de la zona de impacto. Fuente: DERPSCH (2005).

Las aguas superficiales, de arroyada o escorrentía, dependiendo de su energía y de la cohesión de la roca, pueden producir alternativamente erosión o sedimentación. Las rocas con textura granular presentan menor resistencia a la erosión de las aguas superficiales que aquellas cuyas partículas presentan hábito laminar. Los materiales en suspensión, por otra parte, pueden contribuir a arrancar fragmentos de roca o de pigmento si este no está bien adherido a la superficie soporte.

Todos estos procesos pueden formar parte del sistema natural en el que se incluyen las representaciones rupestres, y aún puede haber otros agentes de cambio no incluidos y quizá no incluibles en una descripción de las interacciones del sistema. Estos agentes producen impactos irregulares, que inducen una respuesta del sistema progresivamente amortiguada (MARGALEF 1982). Entre éstos pueden incluirse las agresiones antrópicas directas (vandalismo o destrucción por diversos motivos), a diferencia de las indirectas, las provenientes de los procesos inducidos por la actividad antrópica con potencial lesivo para la conservación, que podrían incluirse como constituyentes del sistema.

Indudablemente, algunos de los elementos de los sistemas en los que se encuadran los testimonios rupestres deben considerarse factores de deterioro, puesto que su acción puede influir más en su destrucción que en su conservación. En la literatura tradicional, los factores ambientales que afectan a la conservación del patrimonio se tratan por lo general uno a uno, con el riesgo de oscurecer el papel de estos y sus sinergias inherentes en el deterioro del Patrimonio Cultural (BRIMBLECOMBE 2005: 12). En el trabajo citado se enfoca el estudio sobre el deterioro mismo y se obtiene una visión diferente, mediante la que se categorizan los daños en clases más amplias, establecidas considerando el modo en que estos ocurren. Así, se habla de procesos de impulso (*impulsive processes*), en el sentido de procesos discontinuos en el tiempo, tales como los terremotos; procesos dosificados (*dose processes*), es decir, procesos que deben su acción a la reiteración acumulativa de la acción, como los procesos erosivos; y procesos cíclicos (*cycle processes*), procesos continuos con etapas de acción y de inacción, como la acción del hielo/deshielo.

Desde el punto de vista del funcionamiento de los propios sistemas, hemos de distinguir entre aquellos que presentan una elevada tasa de intercambio de materia y energía con su entorno y aquellos en los que este intercambio es moderado o bajo. En lo que afecta al arte rupestre, los primeros corresponden con los abrigos y emplazamientos al aire libre, y los segundos al arte rupestre en cuevas. Las características geológicas y ambientales y en definitiva las físico-químicas y energéticas de cada uno de estos enclaves son muy

diferentes. Los escenarios sometidos a la intemperie bajo condiciones naturales son medios de alta oscilación energética con una alta disponibilidad de luz y nutrientes para macro y microorganismos, por oposición a los situados en cavidades naturales. La alta energía de los medios al aire libre tiene como consecuencia que, una vez han resistido el paso de miles de años, muestren una menor fragilidad para su conservación respecto a las cuevas, mucho más susceptibles al deterioro inducido por perturbaciones energéticas de carácter antrópico. Así, la mera presencia de un grupo de visitantes durante unos minutos frente a un panel de pinturas rupestres situado en una cueva, puede provocar variaciones de temperatura y humedad superiores a las que soporta la cueva bajo condiciones naturales durante todo un ciclo anual (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 1999, 2000). Esas modificaciones unidas a los aportes de materia orgánica que se transportan desde el exterior pueden generar una alteración progresiva del microambiente que resulte en un deterioro irreversible a medio-largo plazo (SÁNCHEZ-MORAL y CAÑAVÉRAS 2010).

Independientemente de la naturaleza de los elementos del sistema y de sus relaciones, no todos los procesos actúan en todos los lugares y al mismo tiempo. Siguiendo a MARGALEF (1982), podríamos decir que todo sistema natural ocupa un espacio, y por ello la interacción entre sus elementos es función de sus posiciones relativas. Es por esto que para comprender la verdadera dinámica de los sistemas cobra gran importancia el conocimiento de su componente espacial.

La mejor manera de evaluar las componentes espaciales de un sistema es representarlas gráficamente. Así como el único modo sintético de conocer la distribución espacial de los recursos existentes en un área, provincia o país determinado es representarlos sobre un mapa, el enfoque que más se adecua a la comprensión de las características espaciales de los elementos e interrelaciones que constituyen un sistema es el cartográfico. Pero, en esta suerte de mapa del sistema ¿qué es lo que debemos representar? Desde el punto de vista estrictamente arqueológico, lo interesante es dejar constancia de los elementos culturales y de la información “natural” relevante para su comprensión. Así, de un determinado abrigo con

representaciones pictóricas interesará el calco de los motivos, la situación geográfica del yacimiento, la relación del mismo con otros yacimientos o vías de comunicación, la cronología de los motivos, la composición de los pigmentos o cualquier otra característica capaz de aportar datos para su interpretación. Todas estas son características representables cartográficamente, entendiendo el mapa como descripción de una porción del espacio geográfico con sus características cualitativas y/o cuantitativas (JOLY 1988). Está claro, sin embargo, que si además de la interpretación tenemos como objetivo la conservación y la protección tendremos que incluir la totalidad del sistema, o al menos la totalidad de los elementos que identifiquemos como relevantes en el mismo y que, además, seamos capaces de representar gráficamente.

1.3. DOCUMENTACIÓN INTEGRAL DEL ARTE RUPESTRE

En el marco de un trabajo que tenga como objetivo la mejora o el desarrollo de protocolos de documentación de arte rupestre, la asunción de ciertas posiciones previas que delimiten el concepto mismo de documentación se convierten en el necesario primer paso. Lo que se ha reseñado en el apartado 1.2 será determinante a la hora de establecer estas posiciones.

La primera de ellas se refiere a cuáles son los elementos que debemos documentar. Con respecto a esta materia, tradicionalmente, el registro de las manifestaciones artísticas parietales se ha enfocado de manera casi exclusiva a la obtención de imágenes de los motivos diseñados sobre las superficies soporte. Con este objetivo implícito se han desarrollado diferentes métodos de documentación que se han utilizado de manera extensiva desde los inicios de la investigación sobre arte rupestre y que, en la actualidad, son todavía los métodos más utilizados, sobre todo aquellos que implican un menor coste como el calco directo, el dibujo a mano alzada y el *frottage*. La revisión de ventajas e inconvenientes del uso de estos métodos ha sido objeto de un trabajo específico (ROGERIO-CANDELERIA 2010 a) que se resume en el siguiente apartado de esta

Memoria. La Tabla 1.5 expone las ventajas e inconvenientes de utilizar estos métodos.

Tabla 1.5. Ventajas y limitaciones de los distintos métodos tradicionales de documentación de arte rupestre.

Procedimiento	Ventajas	Limitaciones
Dibujo a mano alzada	No implica contacto directo con los motivos Barato No requiere equipamiento adicional Resuelve problemas de visibilidad en el trazo y aclara el orden de superposiciones	Gran subjetividad potencial Fidelidad cuestionable Lento: necesidad de gran cantidad de horas de trabajo de campo y posteriores de gabinete
Calco directo	Barato No requiere formación adicional ni equipos complicados Resuelve problemas de visibilidad en el trazo y aclara el orden de superposiciones	Potencialmente subjetivo Fidelidad cuestionable Lento: necesidad de gran cantidad de horas de trabajo de campo y posteriores de gabinete Invasivo: Posibles deterioros mecánicos Condensaciones en la cara interna del soporte plástico Transferencia de sustancias adherentes a la roca soporte
Calcos por frotación (frottage)	Barato No requiere formación adicional ni equipos complicados Relativamente rápido: no requiere un tiempo prolongado en el trabajo de campo	Potencialmente subjetivo Fidelidad cuestionable Invasivo: Posibles deterioros mecánicos Posibles deterioros químicos Deterioro estético cuando implica la adición de pigmentos Favorecimiento de procesos de biodeterioro
Obtención de moldes directos	Refleja el relieve y la microtopografía del grabado Resultados fiables	Requiere formación específica Caro Invasivo: Posibles deterioros mecánicos Posibles deterioros químicos Deterioro estético debido a la

		acción de las sustancias desmoldantes o de los componentes del molde Favorecimiento de procesos de biodeterioro
Fotografía analógica	No implica contacto físico con los motivos Rápido Registro simultáneo de paneles y soporte	Presencia de aberraciones debidas a la morfología de las lentes Presencia de deformaciones geométricas en la imagen Dificultad para el registro fiable del color Calcos obtenidos de manera lenta y costosa
Fotogrametría analógica	No implica contacto físico con los motivos Fiable en cuanto al relieve	Caro Necesita personal especializado Potencialmente subjetivo, al ubicarse manualmente las pinturas Gran cantidad de horas de trabajo de campo y de laboratorio

Entre estos sistemas, existen algunos más lesivos que otros. El calco directo tiene, *a priori*, un potencial deteriorante mucho mayor que el dibujo a mano alzada ya que este último, en principio, no necesita contacto alguno con los paneles. Lo mismo podría decirse respecto de la fotografía tradicional, o analógica. Sin embargo, prácticas previas a la documentación como el humedecimiento de las pinturas para incrementar el contraste han estado muy extendidas, independientemente del sistema empleado para reproducirlas (MONTERO RUIZ *et alii* 1998). La aplicación de agua a las pinturas puede contribuir a desprender el pigmento, lavándolo de la roca soporte, sobre todo si el agua fue el vehículo para la aplicación de los pigmentos (BEDNARIK 2007); promover cambios físico-químicos en la superficie pintada (MAWK y ROWE 1998), especialmente en zonas áridas y contextos calizos (POHORECKY y JONES 1967), aunque también en otros tipos de rocas, como las areniscas silíceas de la formación del Aljibe, en las que se encuadran conjuntos de arte rupestre como el del Tajo de las Figuras (HOYOS *et alii* 1996); o movilizar sales

solubles de la roca, que precipitarán en la cara exterior al evaporarse el agua que las transporta ocasionando la formación de costras y eflorescencias (BEDNARIK 2007). En algunos casos, cuando la roca está muy fisurada, la elevada presión de cristalización de estas sales puede producir el desplazamiento de la roca soporte, como en el caso de la Cueva de Arenaza (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2008). La existencia de agua, por otra parte, es garantía de presencia de vida, por lo que el repetido humedecimiento de paneles puede ser el origen de procesos de biodeterioro que a menudo se manifiestan como el crecimiento de biopelículas que albergan complejas comunidades de microorganismos cuya composición e interacciones son por lo general desconocidas (SAIZ-JIMENEZ y HERMOSÍN 1999), pero cuyos efectos trascienden lo puramente estético para ocasionar deterioros tanto mecánicos (ORTEGA-CALVO *et al.* 1991 a) como físicos o químicos (SAIZ-JIMENEZ *et al.* 1990, ORTEGA-CALVO *et al.* 1994, IMPERI *et al.* 2007). A falta de agua, se ha citado la utilización de keroseno, aceite de motor, laca transparente e, incluso, Coca-Cola y otros refrescos. Otras prácticas previas pueden resultar igualmente lesivas para la conservación como la adición de pigmentos a los grabados rupestres para mejorar su visibilidad (SEOANE VEIGA 2005 a,b) o las limpiezas mecánicas de los mismos.

Por otra parte, las superficies sobre las que se desarrollan estas manifestaciones culturales han pasado por lo general desapercibidas en los estudios, encontrándose en ocasiones algunas referencias, en muchos casos de tipo general, a su naturaleza litológica. El enfoque tradicional histórico-arqueológico ha permitido obtener mediante estos métodos informaciones muy útiles para establecer diversas hipótesis de naturaleza cronocultural. Sin embargo, los datos obtenidos a partir de estos métodos se han revelado muy insuficientes cuando se trata de perseguir fines distintos, tales como los relativos a la conservación.

1.3.1. BREVE REVISIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS TRADICIONALMENTE PARA DOCUMENTAR EL ARTE RUPESTRE

La obtención de unos calcos fiables de las representaciones rupestres reviste una importancia especial para el estudio e investigación de las mismas. Sólo mediante unos procedimientos de reproducción que minimicen la subjetividad es posible la creación de una base desde la que poder establecer analogías, paralelismos y explicaciones que no se vean distorsionadas por una documentación inadecuada. Si asumimos que cualquier tipo de arte rupestre es un resto arqueológico, que debe ser tratado exactamente con las mismas cautelas que cualquier otro elemento del patrimonio arqueológico, deberemos estar de acuerdo en que una reproducción incompleta, del mismo modo que una excavación mal llevada, puede adolecer de serias limitaciones en su valor científico.

Por otra parte, los paneles de arte parietal constituyen un legado precioso, a menudo el único testimonio de la actividad simbólica de unas sociedades con las que hemos perdido todo vínculo directo. Estas manifestaciones han sobrevivido hasta nuestros días merced a gran cantidad de factores, en buena medida diferentes para cada panel, que han posibilitado el mantenimiento de un precario equilibrio de naturaleza dinámica. Se trata de un patrimonio a veces muy antiguo y casi siempre frágil, que como tal debemos transmitir a futuras generaciones de ciudadanos en las mejores condiciones posibles.

Se ha señalado que la mayoría de las amenazas para la conservación de las manifestaciones artísticas parietales proviene, de manera directa o indirecta, de la actividad antrópica, no pudiéndose excluir a los especialistas de estos factores de deterioro (CARRERA RAMÍREZ 2002). Por ello, a la hora de obtener información de estos testimonios, nuestro máximo cuidado debe recaer en hacerlo de manera que no afectemos ninguna de sus características intrínsecas ni pongamos en peligro su conservación (BUENO RAMÍREZ y DE BALBÍN BEHRMANN 2006).

Desde principios del siglo XX, momento en el que se estructura la base teórico-metodológica por la que se ha regido la prehistoria como disciplina científica hasta momentos muy recientes, la reproducción de las manifestaciones parietales ha perseguido dos objetivos de naturaleza diferente. En los primeros momentos, el énfasis en la documentación del bien se emplazó en la reproducción más precisa posible, con el objetivo de avalar su autenticidad y que este tipo de manifestaciones fueran admitidas por la comunidad científica como producto de sociedades ya extintas. De este modo, la fotografía se convirtió en un medio pionero de documentación puesto que su carácter de representación fiel de la realidad la convertía en el método más apropiado para garantizar la autenticidad (AUJOLAT 1987). La utilización en estos primeros tiempos de la fotografía no estuvo exenta de problemas, fundados en el escaso desarrollo de la técnica y la utilización de la misma en situaciones extremas. Una vez superada la cuestión de la autenticidad, el énfasis se centró en la reproducción con vistas a la comparación, el encuadre tipológico de los datos y la interpretación de los mismos. Por ello, las técnicas dibujísticas, basadas en el calco por métodos directos o en la copia del original a mano alzada, cobraron una gran importancia, ya que se trata de técnicas costosas sólo en tiempo, que no necesitan de un utillaje especializado que las encarezca. Muy probablemente es esta la razón de la amplia difusión de las técnicas de reproducción basadas en métodos directos, las más extendidas hasta hoy día (MONTERO RUIZ *et alii* 1998), a pesar de los múltiples problemas que, como veremos, presentan. La mayoría de estas técnicas de registro, tienen en común el haber contribuido al deterioro del arte rupestre ya que se trata de procedimientos de reproducción directa, es decir, que implican algún tipo de contacto con la superficie objeto de investigación. En las páginas que siguen intentamos ofrecer un breve panorama de los procedimientos que, más o menos ampliamente, han venido utilizándose hasta nuestros días, revisando aquí sus ventajas y limitaciones.

Desde un punto de vista histórico, en el último cuarto del siglo XX se verifica una lenta transición desde estos métodos más tradicionales de documentación a otros relacionados con la democratización de la tecnología propia de la época en la que vivimos. El inicio de este

período se inaugura con el dominio absoluto e indiscutido de las técnicas de reproducción directa, aunque poco después comienzan a oírse las primeras voces que reclaman evitar el contacto con los paneles a la hora de reproducirlos ya que cualquier contacto con los mismos es potencialmente perjudicial para su conservación (BELTRÁN MARTÍNEZ 1981). Como es sabido, la legislación nacional de 1985 supone un importante paso adelante al declarar Bien de Interés Cultural por el magisterio de dicha ley "las cuevas, abrigos y lugares que contengan manifestaciones de arte rupestre" (LEY 16/1985, art. 40.2). No obstante, a pesar de que se dota al arte rupestre de una importante protección legal, no será hasta la aparición de la ley vasca (1990) y la inmediatamente posterior ley andaluza de 1991 cuando, en los ámbitos autonómicos, se incluyan respectivamente "el estudio del arte rupestre", definido como "el conjunto de tareas orientadas al estudio, documentación gráfica y reproducción de manifestaciones rupestres susceptibles de ser estudiadas por el método arqueológico, y de su contexto" (LEY 7/1990, art. 45.2.5), y "la reproducción y estudio directo del arte rupestre" entre las actividades relacionadas con el patrimonio arqueológico sujetas a autorización previa (LEY 1/1991, art. 52.1), recogiendo así una sensibilidad no siempre compartida por todos. Legislaciones autonómicas posteriores, como la catalana, o la gallega recogen, del mismo modo, el estudio directo del arte rupestre como actividad sujeta a autorización, incluyéndose en esta última norma "la manipulación con técnicas agresivas de materiales arqueológicos" (LEY 8/1995, art. 57). Siguiendo en el ámbito andaluz, la plena asunción de la sensibilidad sobre la peligrosidad del contacto con las representaciones parietales se expresa en la nueva legislación de 2007, en la que se define la reproducción y estudio del arte rupestre como "el conjunto de trabajos de campo orientados a la investigación, documentación gráfica o, excepcionalmente, cualquier tipo de manipulación o contacto con el soporte de los motivos figurados" (LEY 14/2007, art. 52.2.c).

Al mismo tiempo que evoluciona la regulación del estudio del arte rupestre, comienza en el ámbito español a constatar la necesidad del uso de sistemas de reproducción que minimicen la agresión a los paneles haciéndose, en un primer momento, eco de los trabajos

llevados a cabo para la elaboración de la réplica de Lascaux (SANCHIDRIÁN TORTI 1987), basados fundamentalmente en fotogrametría analógica y revelados parciales, siguiendo el sistema de "equidensidades" desarrollado por AUJOLAT (1987). Sin embargo, aunque la tendencia entre los investigadores comienza en estos momentos a bascular hacia la búsqueda de sistemas de reproducción respetuosos con el bien a documentar, todavía algunos consideran crucial la elaboración de calcos directos como base de la reproducción del arte rupestre (CLOTES 1993), tendencia que se mantiene a día de hoy (IAKOVLEVA 2002, DOMINGO *et alii* 2004, SEOANE VEIGA 2005 a,b), si bien con fuerzas progresivamente mermadas.

En el ámbito internacional, trabajos pioneros como los de RIP (1983, 1989) proponen la utilización de las imágenes digitales para la documentación del patrimonio rupestre, empleándose en aquellos primeros momentos medios técnicos fuera del alcance del común de arqueólogos y restauradores como eran los grandes ordenadores, para los que había que desarrollar software específico con el que poder trabajar. Con el paso del tiempo, la aparición de los ordenadores personales primero, y la de los medios para digitalizar, almacenar y obtener imágenes digitales a precios asequibles después, abrieron al campo de la investigación prehistórica multitud de posibilidades, entre ellas las de acceder a la documentación del arte rupestre mediante medios digitales. En nuestro entorno más cercano, las primeras experiencias de uso de estrategias de análisis de imagen aparecen en la segunda mitad de los años noventa (VICENT GARCÍA *et alii* 1996, MONTERO RUIZ *et alii* 1998, 2000), ligadas al abaratamiento de los costes y a las mejoras en los algoritmos de tratamiento de imágenes producidas fundamentalmente en el campo de la teledetección espacial. Estos trabajos constituyen, no obstante, una especie de isla en el panorama nacional, permanentemente citados por prácticamente todo aquel que realiza reproducciones de arte rupestre utilizando medios fotográficos digitales, aunque en realidad se adopten estrategias de reproducción gráfica basadas en el retoque fotográfico. Mucho más recientes, los trabajos que encaran la documentación gráfica del arte parietal con un enfoque semejante al de estas publicaciones pioneras en España (LERMA 2001, LERMA *et alii* 2006, PORTILLO *et alii* 2008 a, ROGERIO-CANDELERIA 2008, 2009,

ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2010 b) comienzan a aparecer a partir del cambio de siglo. Se trata de la aplicación concreta de técnicas de análisis a imágenes multibanda de paneles de arte rupestre que abarcan diferentes arcos de longitud de onda, obteniéndose resultados repetibles que aprovechan el carácter de matriz de datos de las imágenes digitales para obtener información presente aunque no evidente. Enfoques complementarios a este, como la utilización de imágenes obtenidas mediante escáner láser, suponen una vía prometedora que comienza a dar resultados (DÍAZ-ANDREU *et al.* 2006 por ejemplo), aunque por el momento resulta costosa en términos económicos y de tiempo. Si bien para la reproducción de grabados resulta el método más fiable que poseemos en la actualidad, el futuro pasa por la integración de los modelos tridimensionales generados mediante escáner láser u otros dispositivos similares, con los resultados producidos mediante las técnicas de análisis de imagen, utilizando para ello herramientas como los Sistemas de Información Geográfica.

1.3.1.A. LOS CROQUIS O DIBUJOS A MANO ALZADA

Utilizado prácticamente desde el inicio de las investigaciones en arte parietal para la documentación de las manifestaciones que se presuponían más frágiles (AUJOLAT 1987, MONEVA MONTERO 1993), el dibujo a mano alzada ha sido un procedimiento ampliamente usado para la reproducción de los paneles (MONEVA MONTERO 1993), a veces con el apoyo de una cuadrícula (AUJOLAT 1987, KOLBER 1997, POHORECKY y JONES 1966), para facilitar la reproducción del original a una escala determinada. Algunos autores, como el abate Breuil, han utilizado ampliamente la cámara clara (o cámara lúcida) como apoyo para la reducción de escala o su empleo directo para la elaboración de calcos (AUJOLAT 1987). Este útil, al implementar la proyección cónica para la obtención de imágenes virtuales, presenta problemas similares a los que más adelante comentaremos para la fotografía. No obstante, al usarse para la reproducción a escala de una superficie plana, (esto es, del dibujo o calco previamente obtenido por otros métodos) las distorsiones son prácticamente nulas con respecto a estos.

Para BELTRÁN (1981) la documentación por medio de dibujos a mano alzada no presenta ningún inconveniente para la conservación del arte parietal puesto que no implica ningún tipo de contacto físico con el mismo. Sin embargo, la copia a mano alzada, como puede fácilmente comprenderse, es el método de reproducción del arte rupestre que abre una puerta mayor a la subjetividad, que viene dada por la apreciación del investigador y la pericia del mismo al llevar a cabo el dibujo. Tradicionalmente, se ha intentado solventar este inconveniente recurriendo a dibujantes experimentados, alguno de los cuales ha creado verdaderas obras de arte de la transcripción de los motivos de arte parietal, como el mismo Breuil o dibujantes formados siguiendo su estela como Cabré, Alcalde del Río, Benítez Mellado o Campo Sobrino (MONEVA MONTERO 1993). No obstante, a pesar de la calidad artística de estos dibujantes, algunos de ellos prehistoriadores, y a contar los otros con la constante supervisión de especialistas, no puede evitarse la presencia de la subjetividad. Un ejemplo de las cotas que ésta puede alcanzar cuando se utilizan métodos de registro que se prestan tanto a la creatividad del especialista puede apreciarse en la Figura 1.14. A todas luces parece exagerada la reconstrucción “ideal” del motivo a partir de los restos efectivamente conservados. Además, restos de pintura de menor entidad pueden no quedar reflejados en la documentación de los paneles.

Una evaluación cuantitativa de la eficiencia en el registro de motivos de arte rupestre utilizando el dibujo a mano alzada puede encontrarse en BRAYER *et alii* (1999). Una de las conclusiones más relevantes de este estudio es que el dibujo a mano alzada es, en general, muy poco fiable, y que las manos expertas pueden no ser mejores que las de principiantes a la hora de conseguir un registro fiel de los motivos.

A las limitaciones ya comentadas hay que añadir que resulta un procedimiento de registro generalmente lento, que requiere de muchas horas de trabajo de campo y posteriormente de gabinete (POHORECKY y JONES 1966). Por estas razones, aunque a priori no implique contacto físico con los paneles y no entrañe por ello peligro alguno para la conservación de los mismos, debe descartarse este

tipo de sistemas como estándar para la documentación del arte rupestre, si bien debe reconocérsele un lugar a la hora de interpretar los resultados del registro. Los esquemas, dibujos a mano alzada o croquis de lectura deben entenderse como una práctica interpretativa, como la expresión gráfica de una hipótesis que habrá que constatar, pero nunca pueden, por las razones citadas más arriba, constituirse en el único registro de las manifestaciones de arte rupestre.

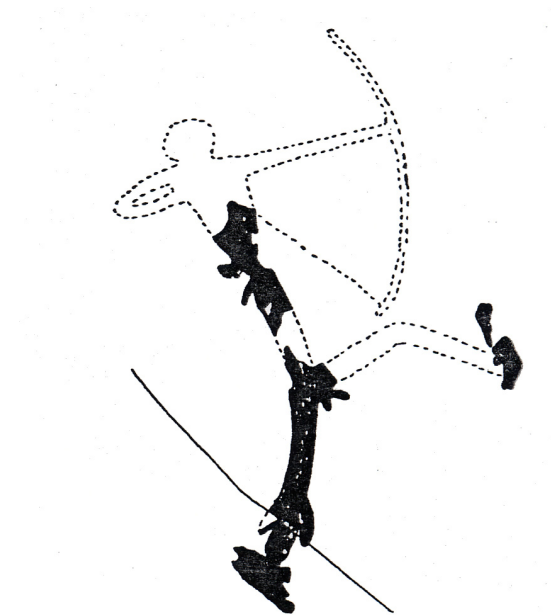


Figura 1.14. Calco de un “arquero” de las cuevas de La Araña según Benítez Mellado y Hernández Pacheco (HERNÁNDEZ PACHECO 1924). Nótese la importancia de la reconstrucción efectuada a partir de unos restos bastante exiguos. Fuente: MONEVA MONTERO (1993).

En la actualidad, el dibujo a mano alzada sigue teniendo defensores – como muestra, KOLBER (1997) – que encuentran en este procedimiento ventajas que no aportan otros sistemas de registro. Así, se aduce como ventaja primordial la comentada no invasividad del método, ya que no implica ningún tipo de contacto con la superficie a registrar (BRAYER *et alii* 1999). Presenta además las

ventajas adicionales de ser un procedimiento barato, que no suele requerir el uso de equipamiento adicional. Según estos mismos autores, permite resolver los problemas derivados de la poca visibilidad del trazo y aclarar el orden de las superposiciones, con un coste de tiempo menor que el empleado en los calcos directos, aunque los resultados son más inseguros.

1.3.1.B. EL CALCO DIRECTO

El principal sistema seguido hasta nuestros días según MONTERO RUIZ *et alii* (1998) es el calco directo sobre el panel. Consiste generalmente en el perfilado sobre un soporte transparente en contacto con el dibujo. La variedad en cuanto a materiales empleados es muy grande, ya que prácticamente cada equipo de investigación ha utilizado los materiales que les han parecido más apropiados o fáciles de obtener en cada momento.

Quizá el procedimiento potencialmente más lesivo para las pinturas sea la utilización de papel de arroz humedecido y extendido con un rodillo de esponja sobre la pintura y el calcado directo sobre este papel utilizando tiza (WAINWRIGHT 1990, POHORECKY y JONES 1966). La ventaja de este procedimiento está en la durabilidad del calco (debido a la durabilidad misma del soporte) y en la posibilidad de añadirse anotaciones adicionales directamente sobre el mismo (WAINWRIGHT 1990). Como inconvenientes, se han señalado la necesaria pericia para aplicar el método, el tiempo necesario para la anotación de detalles difícilmente perceptibles a través del papel, su alto coste económico y su falta de idoneidad para trabajar en zonas desérticas debido a la falta de agua (POHORECKY y JONES 1966), a los que hay que añadir los más que posibles efectos del humedecimiento de pintura y soporte, probablemente los más adversos que este método de registro pueda tener.

Otra cuestión importante, en relación con los calcos directos, es la de su adecuación a la realidad. Ya en los años 20 del siglo pasado, HERNÁNDEZ PACHECO (1924) criticaba la subjetividad que se producía al pasar a papel los calcos en el laboratorio sin tener presente el original. Para contrarrestar este factor proponía el paso inmediato del calco a papel, con la figura delante, para captar todos los detalles.

El abate Breuil, en su documentación de las pinturas de Font de Gaume, recurrió por su parte a la fotografía para el control de los calcos obtenidos por métodos directos (AUJOLAT 1987). El sistema, sin embargo, presenta los mismos inconvenientes que el dibujo a mano alzada con respecto a la objetividad de la tarea.

El calco directo sobre papel transparente es bastante más peligroso para la integridad de las pinturas que el dibujo a mano alzada, ya que puede producirse un deterioro de tipo mecánico de las mismas, erosionándose o arrancándose fragmentos de la capa pictórica o de la roca soporte (Figura 1.15). Cuando se ha tratado de motivos poco visibles, se ha llegado a extremos como el perfilado a lápiz directamente sobre las pinturas que se hizo en el barranco de la Valltorta (MONTERO RUIZ *et alii* 1998), o en el Abric dels Segarulls en Olérdola, Barcelona (GUILLAMET 2000).

La concentración de humedad en la cara interior del plástico o la práctica de sujetar éste a la pared con ayuda de cinta adhesiva o esparadrapo han sido señalados como peligrosos para la conservación de las pinturas rupestres y su roca soporte (BELTRÁN MARTÍNEZ 1981). Para evitar el contacto físico, se han desarrollado procedimientos que sujetan el papel transparente a corta distancia de la pintura mediante bastidores (SANCHIDRIÁN TORTI 1987, AUJOLAT 1987, MONTERO RUIZ *et alii* 1998), si bien estos procedimientos son complicados de seguir, dependiendo del relieve del soporte (MONTERO RUIZ *et alii* 1998). Cuando se utiliza el método del papel de arroz humedecido hay que añadir a la posibilidad de deterioro mecánico producido por el calcado, el humedecimiento mismo y la posibilidad de adhesión al papel de arroz de parte de la capa pictórica.



Figura 1.15. Arañazos producidos en un ortostato del dolmen de Mota Grande, Verea (Ourense) debidos a la realización de un calco por procedimientos directos. Fuente: CARRERA RAMÍREZ (2006).

Para evitar el contacto directo con los paneles pictóricos, algunos autores han elaborado los calcos a partir de la proyección de fotografías (ALMAGRO BASCH y ALMAGRO GORBEA 1968, por ejemplo), aunque los resultados han sido en general menos valorados que los obtenidos mediante procedimientos directos debido a la gran cantidad de discrepancias entre los mismos (SCHOONRAAD 1968) (Figura 1.16). Este mismo autor también señala que, a partir de una fotografía, es a veces muy difícil deducir qué ha sido pintado y qué tiene la pigmentación natural de la roca, o, en caso de superposiciones, cuál de las pinturas es más antigua y cuál más reciente.

A día de hoy los partidarios del calco directo son todavía muchos (ARCÀ 2000, FOSSATI 1997, FOSSATI y ARCÀ 1997, SEOANE VEIGA 2005 a), unos porque consideran que la aplicación de nuevas tecnologías para el registro, tales como la fotogrametría o el escaneado mediante láser, necesitan un alto grado de especialización para su correcto manejo, además de exigir un gran coste económico y de trabajo (SEOANE VEIGA 2005 a), otros (ARCÀ 2000, FOSSATI 1997, FOSSATI y ARCÀ

1997) porque consideran que los resultados son más fiables y descartan que pueda contribuir al deterioro de los paneles. Algún defensor del dibujo a mano alzada, sin embargo, ha señalado con respecto al calco directo que las hojas de plástico tienen tendencia a deslizarse, que las manos y el plástico proyectan sombras que dificultan la visibilidad, que a menudo las marcas de rotulador son más gruesas que el grabado y que la cinta adhesiva suele dejar residuos en la superficie de la roca (KOLBER 1997).

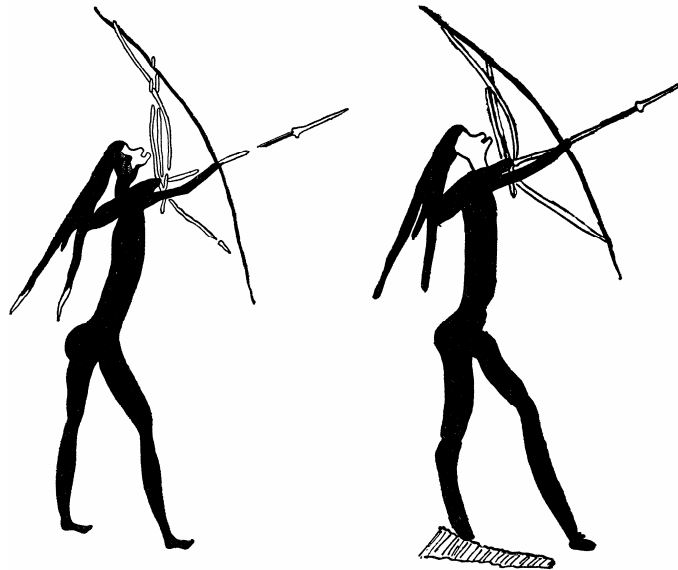


Figura 1.16. Discrepancias entre calcos obtenidos por procedimientos directos (izquierda) y realizados a partir de fotografías del motivo pictórico (derecha). Fuente: SCHOONRAAD (1968).

La práctica de humedecer las pinturas para facilitar su observación, ampliamente extendida prácticamente hasta la actualidad como labor previa al levantamiento de calcos (MONTERO RUIZ *et alii* 1998), abre la puerta al deterioro de las mismas. En general se considera perjudicial todo contacto con la pintura y el soporte (BELTRÁN MARTÍNEZ 1981, MONTERO RUIZ *et alii* 1998), sin embargo, el humedecimiento de éstos ha sido habitual para la elaboración de

calcos con diversos métodos (fotografía convencional, pero también con el calco directo y con el dibujo a mano alzada), en algunos casos, no sólo humedeciendo sino empapando bien la roca (MONEVA MONTERO 1993). Como ya se citó, no sólo mojando con agua, sino con keroseno, aceite de motor, laca transparente (BEDNARIK 2007), Coca-Cola y otros refrescos, vino, cera, mayonesa, orina, o parafina, como en el caso de Val del Charco del Agua Amarga (GUILLAMET 2000).

Cuando se trata de agua, esta práctica debe desecharse debido a los problemas que acarrea para la conservación de las pinturas; más aún cuando se trata de otras sustancias. Además del peligro de desprender el pigmento, lavándolo de la roca soporte, sobre todo cuando el agua fue el vehículo utilizado para la aplicación de los pigmentos (BEDNARIK 2007), el aporte de humedad promueve cambios físico-químicos en la superficie pintada (MAWK y ROWE 1998), especialmente en zonas áridas y contextos calizos (POHORECKY y JONES 1967), pero también en otros tipos de roca, como las areniscas silíceas de los alrededores de la antigua laguna de la Janda, Cádiz (HOYOS *et alii* 1996), que pueden influir negativamente en su conservación. Por otra parte, el aporte de humedad favorece la formación de biopelículas sobre el soporte y la pintura, con el consiguiente peligro de biodeterioro de la misma. Sin embargo, en alguna publicación relativamente reciente (WAINWRIGHT 1990), aunque en general se recomiendan procedimientos ópticos como sustitutivo del humedecimiento para el incremento del contraste y saturación de las figuras al documentarlas fotográficamente, puede leerse literalmente que “para muchas pinturas, particularmente aquellas de Canadá ya expuestas a la lluvia o a salpicaduras de olas, el humedecimiento no puede ser considerado peligroso” aunque algo más adelante el autor reconoce que se ha producido deterioro “en otras partes del mundo” en yacimientos con arte rupestre como resultado del repetido humedecimiento (WAINWRIGHT 1990: 60).

1.3.1.C. CALCOS POR FROTACIÓN

Para documentar gráficamente los grabados, además del dibujo a mano alzada y el calco efectuado del mismo modo que en el caso de la pintura, se han utilizado otros métodos. Quizá el más extensamente empleado hasta la actualidad ha sido el *frottage*

directo sobre la roca, causa de deterioros mecánicos cuando el soporte está alterado o es una roca blanda (areniscas, arcillas).

El *frottage*, *rubbing* o calco de petroglifos por frotación aplicando lápiz, carboncillo o papel carbón a un papel situado directamente sobre el motivo, ha sido, tras el dibujo a mano alzada, la manera más usual, sobre todo en los ámbitos nórdico y anglosajón, de elaborar calcos de grabados rupestres.

Muy habitual en algunos lugares es el pintado de los motivos previo al *frottage*. El método propuesto como estándar por el Museo y Centro de Arte Rupestre de Tanum (Suecia) implica el relleno del interior de los motivos con tiza, y cuando estos son difíciles de distinguir, el dibujo además de los contornos (TANUMS HÄLLRISTNINGSMUSEUM s.f.). La misma publicación propone el pintado de los motivos para proceder a su registro fotográfico, utilizándose como tinta polisacáridos ($C_6H_{10}O_5$), tiza ($CaCO_3$) o cuarzo (SiO_2) suspendidos en agua. Asimismo, se experimenta con tintes semipermanentes que duren varios días y resistan el lavado de la lluvia. Añadir materia orgánica, como es el caso de los polisacáridos, a los grabados, no puede contribuir más que al aumento de la flora bacteriana y a la creación de biopelículas sobre los mismos.

La pintura de los grabados se ha propuesto recientemente como una manera de facilitar la realización de calcos directos tradicionales, aumentando así el contraste superficie grabada/soporte pétreo (SEOANE VEIGA 2005 a). Para ello, la autora recomienda el uso de dos clases de pintura: pigmentos naturales inorgánicos (sombra natural y ocre) y pinturas pastel (pigmento con creta precipitada y goma de tragacanto). Desde nuestro punto de vista, además de añadir nutrientes que favorezcan los procesos de biodeterioro de la superficie grabada, se corre el peligro de abrir la puerta a la subjetividad, al documentarse sólo lo pintado. Al mismo tiempo, todos estos procedimientos que añaden pigmento a las superficies grabadas en cierto modo tergiversan los valores originarios de los grabados, o al menos los valores estéticos asociados a este tipo de manifestaciones culturales (Figura 1.17).



Figura 1.17. Petroglifos rellenos de color rojo para una mejor visualización. Santa María de Oia (Pontevedra). Fuente: NOVOA ÁLVAREZ (1995).

Un inconveniente añadido de estos métodos de registro es que implican la previa limpieza del panel, ya que todos los elementos presentes (suciedad, líquenes...) aparecerán en el calco (SEOANE VEIGA 2005 a), aumentándose así la posibilidad de deterioros mecánicos y/o químicos. Asimismo, se ha puesto de manifiesto la lesividad del *frottage* cuando se emplean papeles ácidos, como los utilizados en la prensa diaria, para obtener los calcos (DIAZ-ANDREU *et alii* 2006). Como alternativa, se ha propuesto la documentación basada exclusivamente en el uso de métodos fotográficos (BUENO y DE BALBÍN 2006).

Una variación de este tipo de sistemas para la reproducción de grabados es el descrito por HEDDEN (1958), y reinventado en los noventa bajo el nombre de “tactigrafía” (DUBAL *et alii* 1993, DUBAL 1995). La “impresión de superficie”, o *surface printing* consiste básicamente en colocar tela o papel directamente sobre el grabado para después extender tinta con un rodillo de esponja, obteniéndose una impresión en positivo. El sistema es, pues, muy similar al *frottage*, con el agravante de necesitar el humedecimiento del papel

y la roca soporte cuando se trata de realizar “tactigramas”. La mayor suavidad de los materiales empleados, sin embargo, reduce el deterioro de tipo mecánico.

1.3.1.D. OBTENCIÓN DE MOLDES

La realización de moldes ha sido uno de los procedimientos utilizados para el registro de grabados rupestres desde los primeros tiempos de la investigación en la materia, una época en la que era fundamental demostrar la autenticidad y antigüedad del mismo y por ello el interés residía en la elaboración de facsímiles, que reprodujeran el arte parietal de la manera más fiel posible (AUJOLAT 1987), si bien no ha sido un procedimiento muy utilizado, al menos en España (MONEVA MONTERO 1993).

Uno de los primeros investigadores que utilizaron procedimientos de molde fue E. Rivière, que aplicó el método desarrollado por Lottin de Laval en 1835 para la reproducción de grabados o bajorrelieves, la lotinoplastia. El procedimiento consiste en la aplicación de hojas de papel preencoladas directamente sobre el motivo. Las hojas se humedecían para que penetraran en los intersticios, incisiones antrópicas y fracturas naturales de la roca y al secar se retiraban, obteniéndose un molde del panel. Este procedimiento resultó muy problemático a la hora de aplicarlo en cuevas, ya que la alta humedad relativa de las mismas hacía muy difícil el secado del papel, por lo que la tarea de retirar las hojas se convertía en muy delicada. Para intentar evitar la adherencia del soporte a las hojas, se aplicó un aceite mineral como desmoldante que a la postre acabó fijando las impurezas contenidas en el aire, contribuyendo al deterioro de los paneles (AUJOLAT 1987). Un procedimiento similar ha sido ampliamente utilizado por los epigrafistas (DOBBINS 1982), aunque la mayor cohesión de los soportes epigráficos ha hecho innecesaria la aplicación de productos que impidan la adherencia de papel y soporte.

A pesar de la mala prensa que tiene la elaboración de moldes directos como procedimiento de registro, en la actualidad, desde el campo de la restauración, se ha propuesto la elaboración de moldes como un método válido de reproducción de grabados rupestre (LÓPEZ

FERNÁNDEZ y PEREIRA UZAL s.f., PEREIRA UZAL y LÓPEZ FERNÁNDEZ 2003). Para estos autores, la elaboración de moldes es perfectamente respetuosa con la conservación del arte parietal y los efectos perversos de este sistema se deben más a la aplicación de procedimientos no adecuados por no especialistas que al potencial lesivo del mismo. Así, afirman que la utilización de procedimientos y materiales bien elegidos, y la pericia técnica del especialista, permiten elaborar moldes respetuosos con los paneles. Entre el catálogo de materiales que proponen para la elaboración de moldes destaca la arcilla, de la que señalan que su impacto "...es prácticamente nulo, y no puede en ningún caso compararse con las agresiones cotidianas de la atmósfera, la contaminación o los actos vandálicos. A priori no hemos encontrado ningún indicio de posibles agresiones o alteraciones futuras, ya que la arcilla es un material que no interactúa químicamente con la mayoría de las rocas estando incluso presente en muchas de ellas como constituyente o producto de alteración, tampoco forma cristales que puedan producir criptoeflorescencias y los restos se pueden eliminar rápidamente por disolución, asimismo tampoco interacciona con posibles colonias de líquenes o algas asentados en la superficie" (LÓPEZ FERNÁNDEZ y PEREIRA UZAL s.f.: s.p.). La adición de arcillas, sin embargo, no es tan inocua como pudiera parecer. Además de modificar el pH del medio, la arcilla interactúa con las rocas, ya que forma enlaces por puentes de hidrógeno con otros compuestos polares; presenta gran capacidad de absorción de agua, en muchos casos aumentando de volumen considerablemente; presenta también gran capacidad de absorción de grupos funcionales de compuestos orgánicos y no es soluble. Además, el *biofilm* puede englobar las arcillas favoreciendo su nutrición y por otra parte, la arcilla por su elevada superficie específica permite la adsorción de bacterias y hongos. Por último, proporciona sustrato para que puedan desarrollarse briofitas y plantas superiores.

Otros materiales propuestos son los silicauchos, el látex o las siliconas. Estos productos, si bien potencialmente peligrosos, según estos autores, pueden ser utilizados empleando las sustancias desmoldantes adecuadas.

Para evitar los efectos negativos del uso de moldes de silicona (alteraciones cromáticas, hidrofugación de la superficie, deterioro mecánico de motivo y/o soporte), mencionan el agua, aplicada directamente o por medio de agentes tixotrópicos o gelificantes (carboximetilcelulosa, agar-agar o gelatina), o bien el empapelado mediante tejidos especiales y un adhesivo (colas o gelatinas animales).

Ya hemos comentado más arriba lo que puede implicar la adición de materia orgánica: respecto a la carboximetilcelulosa, los mismos autores reconocen que se insolubiliza en presencia de altas concentraciones de iones metálicos (algo que no es nada extraño en muchas rocas), permaneciendo allí, por tanto, como fuente de carbono disponible para favorecer el crecimiento de microorganismos. El agar-agar, por su parte, suele utilizarse como soporte de los medios de cultivo en microbiología: toda explicación añadida está aquí de más. La gelatina procede de la hidrólisis parcial del colágeno animal: de nuevo una fuente adecuada de carbono y nitrógeno para microorganismos. Independientemente del enriquecimiento en nutrientes del medio propiciado por la elaboración de moldes, nos encontraremos con la intensificación de la acción del agua, infiltrada en los intersticios de la roca, que puede dar lugar a procesos de gelificación si se alcanzan los 4°C o menos, algo no infrecuente en la mayoría de las localizaciones en las que se conocen grabados rupestres.

1.3.1.E. FOTOGRAFÍA ANALÓGICA

La documentación de los paneles con arte rupestre mediante técnicas fotográficas constituyó, desde el principio de su utilización, un gran avance porque permitía el registro tanto de los motivos como de las peculiaridades del soporte de manera simultánea, rápida y sin necesidad aparente de tener contacto físico con los paneles. Sin embargo, tardó en aceptarse como método fiable (MONTERO RUIZ *et alii* 1998), sobre todo porque la baja calidad de las fotografías y la complejidad de ejecución de las mismas en los primeros tiempos hacía difícil obtener resultados fidedignos (AUJOLAT 1987, MONEVA MONTERO 1993). Aún hoy día algunos investigadores prefieren los

procedimientos directos de reproducción (REY y SOTO 1996, FOSSATI 1997, FOSSATI y ARCÀ 1997, ARCÀ 2000, SEOANE VEIGA 2005 a,b).

La fotografía analógica, o tradicional, se basa en aplicar el principio de la cámara oscura a emulsiones de material fotosensible (sales de plata), que registran la imagen virtual obtenida en una imagen latente. Esta imagen se fijará mediante los procesos químicos de revelado y fijado.

Aunque la fotografía convencional ha constituido un paso adelante en cuanto a la documentación del arte rupestre, los resultados obtenidos por estos métodos adolecen de algunos defectos que son difíciles de subsanar. El principal es el de las deformaciones geométricas que se producen al fotografiarse una superficie.

Las imágenes fotográficas, similarmente a las percibidas por el ojo humano, se forman mediante una proyección cónica, lo que supone que todas las visuales de esta perspectiva pasan por un único punto, el centro óptico. Las deformaciones son independientes de la distancia focal del objetivo, y se deben a la distancia que separa el objeto del plano en el que se forma la imagen (AUJOLAT 1987), produciéndose fenómenos de anamorfosis que modifican las relaciones geométricas del objeto real en la imagen registrada. En presencia de relieve las fotografías pierden toda capacidad métrica puesto que, las áreas más cercanas al objetivo, junto a las más lejanas, aparecen reflejadas sobre un mismo plano.

Relacionadas con la morfología y la calidad de las lentes encontramos unas distorsiones particulares que afectan a la calidad de la fotografía, estas distorsiones son las conocidas como aberraciones, y pueden ser de distintos tipos (MONJE ARENAS 1992): así, se habla de aberraciones cromáticas, esféricas, de astigmatismo, de coma, de curvatura de campo o de distorsión. Algunas de estas distorsiones pueden corregirse con el empleo de objetivos de distinto tipo, si bien no existen objetivos que corrijan todas las aberraciones posibles en una imagen fotográfica. Por otra parte, las aberraciones cromática y esférica afectan a toda la imagen por igual. El resto de las

aberraciones citadas sólo afecta a las zonas de la imagen más próximas a bordes y esquinas.

Otras deformaciones de la imagen con respecto a la realidad se deben al carácter de perspectiva que tienen las fotografías. Así, el ángulo que la cámara fotográfica tome con respecto al objeto fotografiado será determinante a la hora de producir unas deformaciones geométricas mayores o menores. Las menores deformaciones, lógicamente, se producen cuando la cámara se coloca ortogonalmente con respecto a la superficie a fotografiar. Sin embargo, incluso cuando la cámara fotográfica se sitúa en posición normal a los paneles pictóricos, no puede evitarse la deformación de las zonas de la imagen en posición periférica con respecto al centro.

Para corregir estas deformaciones se han utilizado varios procedimientos que, por lo general, persiguen la construcción de una representación conforme mediante la elaboración de mosaicos a partir de distintas imágenes; así, por ejemplo, Willcox y Pager (WILLCOX 1967), para el registro de las pinturas de la garganta de Ndedema (Sudáfrica), Gil Carlés, durante la realización del Corpus de Arte Rupestre Levantino (CRUZ BERROCAL *et alii* 2005) o más recientemente, la realización de los nuevos calcos de la Cova dels Cavalls en el Barranco de la Valltorta (DOMINGO SANZ y LÓPEZ MONTALVO 2003, LÓPEZ MONTALVO y DOMINGO SANZ 2005).

Como estas mismas autoras han mostrado, las opciones de restitución para los paneles se reducen básicamente a dos: seleccionar un punto de vista único para la totalidad del conjunto, o seleccionar una visión frontal y perpendicular a cada uno de los motivos, agrupando en un único calco puntos de vista dispares por medio del mosaico de imágenes.

En su trabajo, las correcciones geométricas se llevan a cabo mediante triangulación, lo que supone un engorroso trabajo de cálculo de distancias y constante contrastación con las medidas del panel real. Parece, pues, que los procedimientos más adecuados para corregir las distorsiones geométricas de las imágenes fotográficas son los basados en la fotogrametría, que hoy día ha conseguido unos costes

lo suficientemente bajos como para que se la pueda contemplar como una técnica útil para estos fines.

La fotografía convencional de los grabados presenta, si cabe, más problemas de distorsión geométrica que la de las pinturas, ya que a menudo para fotografiarlos hay que hacerlo con luz rasante o con la cámara inclinada, produciéndose deformaciones importantes que dependen no sólo de la distancia al objeto sino del ángulo que forma la cámara con respecto a la superficie a fotografiar y del ángulo de incidencia de la luz utilizada. Análogamente a lo comentado para las pinturas, la distorsión geométrica puede ser corregida por medios fotogramétricos.

Otro de los problemas derivados del uso de la fotografía convencional radica en el registro del color. Las películas en color han demostrado ser poco estables, ya que con el paso del tiempo tienden a degradarse y alterar los colores registrados originalmente. Por otra parte, las condiciones lumínicas en el momento de la toma de la imagen, así como el proceso de revelado pueden producir cambios de tono que pueden conducir a que el color registrado sea muy diferente del color real del panel.

Los factores de subjetividad en el registro fotográfico del arte rupestre son bastante abundantes aunque a priori pudiera parecer lo contrario. Así, numerosos factores se combinan en el momento de la captación de la imagen: tipo, calidad y dirección de la iluminación, humedad relativa del aire, materia en suspensión como polvo, humo o niebla; factores relacionados con el equipo, como el tipo de lente, el tipo de película, tiempo de exposición y apertura de diafragma utilizada, etc. Una vez expuesta la fotografía, hay posibles factores de subjetividad debidos a los cambios que pueda sufrir la película antes de ser revelada (tales como deterioro debidos a la temperatura o humedad), así como variaciones atribuibles al proceso de revelado del negativo o las copias (BEDNARIK y SESHADRI 1995).

Tradicionalmente, para resaltar los grabados al ser documentados fotográficamente, se han marcado los surcos con tiza o carbón (MONEVA MONTERO 1993). Esta práctica ya se criticó en los años

sesenta (SWARTZ JR. 1963) debido a su permanencia, tendencia a desfigurar los grabados hechos en superficies blandas, sus propiedades no reflectantes de la luz y la incapacidad para mostrar distintos anchos de línea, proponiéndose alternativamente la aplicación a pincel, directamente sobre las líneas grabadas, de pequeñas cantidades de polvo de aluminio mezcladas con agua. Una vez hecha la fotografía, el polvo de aluminio podía retirarse lavando con agua o limpiando con una brocha una vez seco.

Los primeros calcos elaborados a partir de fotografías, como hemos dicho se elaboraron a partir de la proyección de las mismas sobre el papel y el dibujo de los contornos. Las limitaciones de este tipo de calcos ya se han comentado y no nos extenderemos más sobre ellas. Otros procedimientos de elaboración de calcos analógicos a partir de fotografía han sido desarrollados y utilizados en mayor o menor medida. Así, Gil Carlés desarrolló experimentalmente el procedimiento que dio en llamar “fotocalco” (MONTERO RUIZ *et alii* 1998), es decir, un calco elaborado a partir del revelado químico diferencial de las copias. En esta misma línea cabe encuadrar los trabajos de AUJOLAT (1987), utilizando su sistema de “equidensidades”. El procedimiento, mediante el impresionado y revelado de diferentes negativos a partir de un negativo o diapositiva del original, permite la elaboración de máscaras que se utilizarán, superpuestas, para revelar en una copia final en blanco y negro las diferentes áreas con un mismo valor de gris, juntas o por separado. Esta técnica permite la eliminación del ruido de fondo que representa, a estos efectos, todo lo que no sean los trazos de las distintas manifestaciones pictóricas.

Aunque los resultados obtenidos con estas técnicas fotoquímicas son apreciables, puede achacársele un grave defecto, cual es la necesidad de necesitar mucho tiempo y elaborados tratamientos químicos para los que se necesita una adecuada formación empírica. Así, este tipo de sistemas ha tenido un éxito relativo y han sido aplicados tan sólo por las personas que los han desarrollado y en contextos determinados, tales como la réplica de Lascaux, no llegando en ningún caso a generalizarse su uso como método estandarizado de registro de pinturas rupestres.

1.3.1.F. FOTOGRAMETRÍA ANALÓGICA

La fotogrametría tiene ya una larga tradición como método de registro arqueológico. Desarrollada a mediados del siglo XIX, su primera aplicación arqueológica fue el levantamiento de las ruinas de Persépolis en 1885 (FUSSELL 1982). En este mismo año se creó el primer servicio de fotogrametría para la documentación de los monumentos de Prusia (ALMAGRO GORBEA 2002). A pesar de tan lejanos precedentes, la aplicación de los métodos fotogramétricos al registro del arte rupestre (Figura 1.18) es bastante reciente, comenzando a aplicarse en los años 70 del siglo XX (TURPIN *et alii* 1979, FUSSELL 1982).

La fotogrametría es una técnica de medición basada en la utilización de fotografías, entendidas como imágenes perspectivas. Así, si disponemos de una imagen fotográfica y conocemos la posición relativa del centro de proyección podremos reconstruir las direcciones de todos los puntos registrados en la imagen. Si además se conoce la posición y orientación de la cámara en el momento de captar la imagen, se podrán determinar esas mismas direcciones referidas al sistema general de coordenadas. Si sólo conocemos los datos que pueden extraerse de la imagen, serán necesarias dos fotografías del mismo objeto tomadas desde puntos distintos para reconstruir la posición espacial de todos aquellos puntos visibles en las dos imágenes (ALMAGRO GORBEA 2002).

El resultado del registro por métodos fotogramétricos es la representación del relieve del soporte, expresado en isolíneas equiparables a las curvas de nivel de las representaciones cartográficas. Si la resolución (intervalo de alturas representado por las isolíneas) es lo suficientemente alta, el levantamiento fotogramétrico constituye un método muy fiable para la reproducción de las representaciones grabadas, ya que permite medir y realizar cortes topográficos en cualquier dirección, facilitándose el estudio de, por ejemplo, las técnicas utilizadas.



Figura 1.18. Utilización de la fotogrametría analógica para la restitución y el registro de motivos rupestres paleolíticos en la Sala de los Toros de Lascaux. Fuente: AUJOLAT (1987).

El principal inconveniente de la fotogrametría analógica reside en su alto coste y complejidad técnica, que hace necesario un personal altamente especializado para llevar a cabo la documentación. Además, documentar no es sólo obtener el relieve, sino que sobre él hay que colocar las manifestaciones rupestres. Éste, sobre todo en cuanto a las pinturas, es un factor de subjetividad importante, ya que con este tipo de sistemas la capa pictórica debe ubicarse manualmente. Volvemos, así, de nuevo, a los mismos factores de subjetividad que comentábamos con respecto al dibujo a mano alzada, aunque esta vez sobre un soporte sensiblemente más real.

Sólo recientemente, con el uso generalizado de ordenadores cada vez más baratos y potentes, se ha podido plantear la corrección de fotografías como un procedimiento estándar para la documentación del arte rupestre. La fotografía restituida digitalmente es comparable a la planimetría y, por lo tanto, pueden realizarse mediciones fiables sobre ella, al tiempo que se abaratan enormemente los costes. Otros medios de reproducción del relieve, como el escáner láser, permiten una gran fiabilidad en la reconstrucción, aunque por el momento los costes son prohibitivos.

1.3.2. DOCUMENTACIÓN INTEGRAL DEL ARTE RUPESTRE

Tras revisar los métodos tradicionales para la documentación de las manifestaciones rupestres podemos introducirnos en la segunda cuestión previa: la que se refiere a la finalidad de la documentación. En este sentido, aunque no representa ninguna novedad a nivel conceptual, debemos destacar que el arte rupestre no es sólo objeto de investigación, es también un destacado componente del patrimonio cultural, y como tal presenta una vertiente social que trasciende la propia investigación científica. La conservación de los valores históricos y culturales que lo hacen propiedad de la sociedad en su conjunto puede verse afectada por una documentación inadecuada. Por otra parte, desde la ética profesional del investigador, no puede entenderse una acción de documentación que olvide la conservación del bien cultural documentado o lo ponga en peligro de desaparecer. Cualquier acción de documentación sobre

el arte rupestre debe intentar extraer el máximo de información minimizando la agresión al mismo.

Como hemos visto en el apartado anterior, los métodos tradicionales de documentación actuaban dentro de un enfoque reduccionista, en el sentido de ocuparse tan sólo de uno de los aspectos implicados, y por tanto no prestaban una atención expresa a la conservación del bien documentado. Aunque la bibliografía está salpicada de referencias a los problemas que se pudieran ocasionar utilizando algunos de estos métodos (BELTRÁN MARTÍNEZ 1981, AUJOULAT 1987, entre otros), lo cierto es que prácticas como el ya comentado humedecimiento de las pinturas rupestres han perdurado hasta nuestros días y procedimientos tan lesivos como el calco directo o el *frottage* continúan aplicándose hasta el punto de considerarse “una etapa preliminar vital” (CLOTES 1991: 166), y se incluyen en protocolos recientes de documentación (IAKOVLEVA 2002, SEOANE VEIGA 2005 a,b). En este sentido, la acción de los propios arqueólogos ha podido ser más lesiva para la conservación del arte rupestre que el largo tiempo transcurrido desde su elaboración.

Desde un punto de vista ético, la información obtenida al documentar paneles de arte rupestre debe ser eficaz tanto para el estudio propiamente arqueológico como para su conservación. Encarar la documentación de un sistema complejo atendiendo sólo a uno de sus elementos conduce a multiplicar esfuerzos innecesariamente, encarecerlos, y poner en peligro la conservación de un patrimonio ya de por sí bastante amenazado.

En este sentido, es importante destacar que, aunque los avances técnicos de los últimos años ya hacen posible la documentación no invasiva, sigue siendo demasiado frecuente que diferentes equipos soliciten permisos para documentar repetidamente los mismos bienes. Esta repetición, independientemente del posible daño que puedan causar las técnicas de reproducción utilizadas, no hace sino poner en riesgo la conservación del bien, sobre todo de aquellos que se encuadran en sistemas naturales de equilibrio especialmente frágil. Por otra parte, la repetición de esfuerzos para cubrir el mismo objetivo sólo incrementa el costo total de los mismos, sin que esto

sea garantía de su rentabilidad social o de la conservación del bien. Parece obvio que la acción más rentable es aquella que, con el mínimo de inversión (esfuerzo, probabilidad de deteriorar, o económica) produce mayores beneficios (sociales y científicos). Por ello, creemos que la documentación del arte rupestre debe ser, pues, integral, en el sentido de cubrir los dos objetivos de forma simultánea: aportar, por un lado, datos útiles para la investigación arqueológica *sensu strictu* y aportar, por otro, los datos necesarios para conocer el comportamiento del sistema y contribuir así a su conservación.



Figura 1.19. El contacto directo con las manifestaciones rupestres, como en este caso, en el que se coloca una mano sobre los motivos rupestres para la comparación de tamaños puede tener como efectos indeseados, entre otros, la transferencia de sustancias o la difuminación de los motivos por erosión mecánica además de la contaminación microbiana por bacterias aportadas por la piel humana. Fuente: GONZÁLEZ Y ALVARADO (1993).

El concepto de documentación integral que queremos definir aquí pasa, pues, por la detección y caracterización de los elementos

componentes del sistema natural en el que se enmarcan las representaciones parietales, definiendo los procesos actuantes en función de los elementos del sistema y sus sinergias y reflejando adecuadamente su dimensión espacial que, como hemos visto, resulta de especial importancia para comprender el comportamiento del mismo. Al mismo tiempo, las técnicas o sistemas empleados para documentar deben ser respetuosos con la conservación del bien, asegurándose la integridad de paneles, rocas y pigmentos.

Los métodos empleados para documentar el sistema deben ser consecuentes con la fragilidad del mismo, no debiéndose emplear medios que contribuyan a su deterioro o puedan alterar las condiciones que contribuyen a su conservación que, en la mayoría de los casos, resultarán difíciles de determinar. Proponemos, pues, el uso de métodos respetuosos desde el punto de vista de la conservación. Así, no sólo las limpiezas mecánicas o la aplicación de biocidas deben rechazarse por la posibilidad de inducir cambios que estas representan, sino todo contacto con el bien a documentar (Figura 1.19). Como ya se ha reseñado, en los ambientes más frágiles incluso la mera presencia de los investigadores puede deparar consecuencias indeseadas (HUPPERT *et alii* 1993, MOURE 1993), como se ha contrastado en cavidades kársticas como Altamira (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2002 a) o Candamo (HOYOS *et alii* 1993, 1998).

Una de las conclusiones que se extraen inmediatamente del concepto de documentación que barajamos es que debe efectuarse de manera transdisciplinar. La documentación, independientemente de su valor como fuente de datos para la investigación centrada en una u otra parcela del conocimiento, está indisolublemente ligada a la conservación. Por ello, los diferentes conceptos, enfoques y técnicas procedentes de las diferentes ciencias que tienen algo que aportar en el conocimiento de estos sistemas deben integrarse no sólo para crear un lenguaje común, mutuamente comprensible por los especialistas en estas ramas del saber, sino como estrategias metodológicas concretas que permitan acercarse a la complejidad de la composición y funcionamiento de cada uno de ellos.

2

Arte Rupestre y Biodeterioro

En el capítulo precedente hicimos una somera referencia a los elementos de origen biótico incluidos en los distintos sistemas naturales en los que se encuadran las representaciones rupestres. En las páginas que siguen, revisaremos el complejo conjunto de los seres vivos que constituyen esta parte de los sistemas naturales, tan complejo como, por lo general, desconocido en cuanto a sus relaciones, cadenas tróficas y composición de las comunidades. Su importancia en estos sistemas es paralela a su desconocimiento y viene marcada por el concepto de biodeterioro, utilizado ya en los años 60 del siglo XX por HUECK (1965, 1968), que se define como *cualquier cambio indeseado en las propiedades de un material causado por las actividades vitales de los organismos*. Considerando en esta definición el término *material* como cualquier forma de

materia, a excepción de los organismos vivos, utilizada por el ser humano.

Aunque no todas, o no en todos los contextos, las actividades de los organismos puedan considerarse dañinas, sino en algunos casos deseables e incluso beneficiosas (SAIZ-JIMENEZ 1997), en general, la presencia de elementos bióticos desarrollando su ciclo vital en localizaciones con arte rupestre constituye un factor de deterioro del mismo, bien de tipo mecánico, bien de tipo químico, bien de tipo estético.

Las superficies pétreas, tengan o no arte rupestre sobre ellas, se perciben por lo general como secas, estériles, impenetrables para los organismos vivos y, en general, como un hábitat poco deseable. Sin embargo, la superficie de las rocas está a menudo repleta de vida, presentando toda una sucesión de especies biológicas que abarca líquenes, briofitas, plantas superiores en algunos casos, una miríada de invertebrados, así como un amplio conjunto de organismos microscópicos como bacterias, cianobacterias, algas y hongos no liquenizados (ST. CLAIR y SEAWARD 2004). Aún más, organismos que no pueden incluirse a priori en el sistema puesto que el impacto de sus actividades opera a modo de procesos de impulso (BRIMBLECOMBE 2005) pueden producir importantes deterioros mecánicos con sus arañosos, o picotazos, puntuales o periódicos. Así, las estructuras escaleriformes señaladas para aves como el Chupasavia maculado (*Sphyrpicus varius* L.) o los surcos en V producidos por mamíferos como el Petauro de vientre amarillo (*Petaurus australis reginae*) (BEDNARIK 2007: 28), así como las marcas producidas por las garras de osos o felinos, que pueden ser confundidas con grabados o deteriorar manifestaciones rupestres preexistentes. En función de la acción que ejerzan los diferentes tipos de organismos, pueden considerarse diferentes tipos de deterioro de origen biológico:

- *Biodeterioro físico y mecánico*: Los organismos interrumpen o distorsionan el material debido a su crecimiento o movimiento, no utilizándolo como alimento (Figura 2.1). Así, se ha descrito el agrietamiento de esculturas y monumentos debido al crecimiento de plantas, que en su desarrollo producen una presión e incremento de

las fisuras, en las que la retención de agua y los procesos de hielo y deshielo incrementan los daños mecánicos, convirtiéndose así estos organismos en un factor que incrementa la degradación física. En pinturas al fresco se ha observado que ciertas infecciones fúngicas perforan la superficie pintada efectuando una acción degradativa de tipo mecánico (SAIZ-JIMENEZ y SAMSON 1981, DORNIEDEN *et alii* 2000). Del mismo modo, los musgos pueden penetrar en la roca por el propio crecimiento de sus rizoides, provocando agujeros (GARCIA DE MIGUEL *et alii* 1995).



Figura 2.1. Plantas vasculares creciendo en el interior de una grieta de una escultura de terracota de la Puerta del Perdón de la Catedral de Sevilla. Fotografía de Cesáreo Sáiz Jiménez.

- *Biodeterioro estético*: El material no es dañado pero el crecimiento de organismos genera una apariencia desagradable, indeseada u oculta parcial o totalmente elementos de interés (Figura 2.2). Se incluyen aquí el desarrollo de biopelículas superficiales en soportes pétreos, ocasionadas por cianobacterias y algas (ORTEGA-CALVO *et alii* 1993, ALBERTANO y URZI 1999, TOMASELLI *et alii* 2000); la formación de algunos depósitos negros sobre la superficie de edificios antiguos

debida a la producción de melaninas por hongos y cianobacterias (SAIZ-JIMENEZ 1995); las pátinas blancas que aparecen en algunos frescos originadas por bacterias (AGAROSI *et alii* 1985) y las pátinas verdes originadas por algas (CIFERRI 1999).



Figura 2.2. Manchas de origen bacteriano sobre un motivo zoomorfo de la Cueva de El Pendo. Fotografía de Ramón Montes Barquín.

- *Biodeterioro de asimilación química*: Los organismos usan el material como fuente de carbono o de energía (Figura 2.3). Por ejemplo, los estucos proporcionan un sustrato carbonatado y un contenido moderado en sales, adecuados para el crecimiento de algas. El crecimiento de estas algas está directamente relacionado con el proceso de meteorización de la piedra (ARIÑO *et alii* 1996).

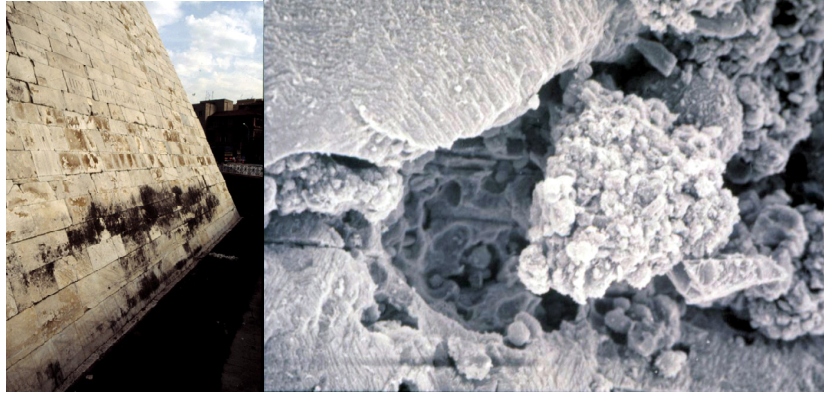


Figura 2.3. Disolución de superficies pétreas por cianobacterias epilíticas. Izquierda, aspecto de una de las fachadas de la pirámide Cestia (Roma). En tonos oscuros se aprecia la extensión de un biofilm epilítico. Derecha, imagen de microscopía electrónica de barrido que muestra la disolución de la caliza por este biofilm. Fotografías de Cesáreo Sáiz Jiménez.



Figura 2.4. Concreciones de aragonito bioinducidas sobre una figura del panel de la Sala de La Hoya de la cueva de Altamira. Fotografía del autor.

Podemos considerar el biodeterioro de los materiales como un aspecto más de la continua transformación que la materia, sea orgánica o inorgánica, experimenta en la naturaleza. La tendencia

entrópica de los sistemas naturales evita de este modo la inmovilización en estructuras más o menos complejas de los constituyentes químicos fundamentales y su substracción al ciclo continuo de los elementos, en el cual concurren factores físicos, químicos y biológicos, aunque cuando se trata de biodeterioro predominen los últimos, inducidos por los organismos vivos. Es interesante reseñar aquí que, entre estos, el hombre ocupa un puesto importante y en muchos casos determinante, ya que sus acciones pueden alterar el equilibrio natural al producir, por ejemplo, ingentes cantidades de residuos no degradables que escapan al ciclo de los elementos.

Si bien, para hacer una exposición sistemática, hemos diferenciado las distintas clases de biodeterioro en función de sus efectos, en la naturaleza lo habitual es que aparezcan deterioros de varios tipos al mismo tiempo. Así, por ejemplo, la acción de las plantas vasculares en el deterioro de la roca puede ser mecánica a través del crecimiento de raíces y química por la acidez de las mismas y la excreción de diversos exudados (SAIZ-JIMENEZ 1994). Los hongos, por su parte, provocan biodeterioro estético debido a la producción de pigmentos, como melaninas y carotenoides, pero también físico y mecánico como hemos mencionado anteriormente, pues la penetración de las hifas a favor de las grietas y poros puede generar procesos de fractura en la piedra y, por otra parte, biodeterioro químico debido a la producción de ácidos orgánicos capaces de provocar la disolución de rocas carbonatadas (DE LEO y URZÌ 2003). Desde una perspectiva diagnóstica, los diferentes síntomas que indican el biodeterioro de los materiales pueden ser de naturaleza muy variable. En la Tabla 2.1 se recogen éstos junto a algunos ejemplos.

Como hemos visto en el capítulo anterior, el arte rupestre se emplaza en dos tipos de localizaciones: sistemas de alta energía (abrigos y emplazamientos al aire libre) y sistemas de baja energía (cavidades). Las diferencias entre uno y otro tipo de localización son grandes, y, desde el punto de vista de la actividad biológica, vienen marcadas fundamentalmente por dos factores: la disponibilidad de luz y la disponibilidad de nutrientes. Las localizaciones al aire libre o en

abrigos someros (ambientes epigeos o para-hipogeos) se caracterizan por una elevada iluminación y una importante disponibilidad de recursos. Por el contrario, los ambientes hipogeos se caracterizan por ser medios oligotróficos (con muy pocos o ningún recurso disponible) y por la ausencia de luz. Como también vimos en el capítulo anterior, la estabilidad ambiental es una característica propia de estos ambientes hipogeos. Estas características condicionarán la biocenosis (Figura 2.5) presente en los distintos biotopos en los que existe arte rupestre, y por tanto su posibilidad de biodeterioro.

Así, las diferencias ecológicas entre los biotopos, marcarán la presencia de unas comunidades biológicas u otras, en función de la capacidad de las especies para desarrollar su ciclo vital o, simplemente, sobrevivir en estos entornos.

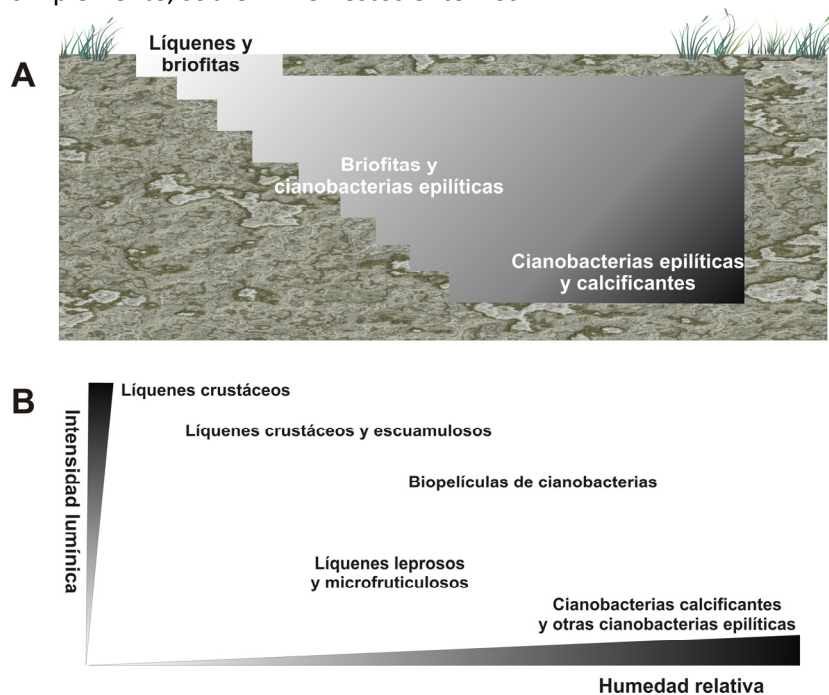


Figura 2.5. A. Esquema general de distribución de la microflora de las tumbas de la Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla). B. Distribución de la microflora de la Tumba del Elefante de la Necrópolis de Carmona en relación con la intensidad lumínica y la humedad relativa. A partir de ARIÑO (1996).

Tabla 2.1. Síntomas del biodeterioro de materiales (según SAIZ-JIMENEZ 1981)

Síntomas		Ejemplos
1. Morfológicos	1.1 Manchas	Crecimiento en superficie de hongos en pinturas al fresco
	1.2 Eflorescencias	Proliferación de bacterias en frescos de criptas
	1.3 Decoloraciones	Precipitación de sulfuro férrico por bacterias reductoras del azufre en superficies metálicas
	1.4 Ahuecamientos	Huecos en metales corroídos por bacterias reductoras del azufre
	1.5 Lesiones	Ciertas partes de los materiales son trituradas por roedores
	1.6 Desfiguraciones	Cambios en la estructura de las pinturas, asociadas al ataque de hongos
	1.7 Desorganización	Ataque y destrucción de emulsiones por bacterias
	1.8 Defibrilación	Pérdida de coherencia de materiales fibrosos, como en la lana atacada por microorganismos
	1.9 Penetraciones	Invasión del lumen de ciertas fibras naturales por hongos
2. Funcionales		
2.1 Cambios en las propiedades primarias	2.1.1 Cambios en las propiedades mecánicas	Pérdida de tensión y elasticidad de tejidos ocasionados por microorganismos
	2.1.2 Cambios en las propiedades eléctricas	Cambios en la conductividad de materiales invadidos por hongos
	2.1.3 Cambios en las propiedades ópticas	Opacidad de los cristales causada por la actividad de productos metabólicos fúngicos
	2.1.4 Cambios en las propiedades químicas	Degradación de la celulosa y lignina de maderas por hongos
2.2 Cambios en las propiedades secundarias	2.2.1 Desarrollo de olor	Olores característicos asociados con el enmohecimiento de materiales
	2.2.2 Desarrollo de calor	Fermentación del heno por microorganismos

2.1. PANELES RUPESTRES SITUADOS AL AIRE LIBRE O EN ABRIGOS SOMEROS

En las localizaciones al aire libre se ha señalado la importancia con respecto a la conservación de la presencia de poblaciones de artrópodos, fundamentalmente arácnidos e insectos, que pueden producir biodeterioro estético mediante la presencia de telarañas o estructuras de nidificación, como en el caso de varias especies de avispas alfareras (BEDNARIK 2007). La acción de otros invertebrados, no tan visibles como los citados, puede resultar un elemento importante en el sistema, si bien su acción será más desequilibrante en los medios con baja tasa de intercambio de materia y energía. La rapidez de su movimiento impide muchas veces tenerlos en cuenta como integrantes del sistema, ya que difícilmente aparecerán en una foto fija del mismo. Lo mismo puede decirse de los vertebrados, que gozan de un amplio margen de movilidad, pero cuyas actividades pueden ser determinantes a la hora de producir biodeterioro. La construcción de nidos por algunas especies de golondrinas en lugares con arte rupestre puede ocultar pinturas e incluso destruirlas mediante la acción combinada de deterioros mecánicos y químicos, no solo procedentes de la construcción de los nidos sino en relación con sus excrementos. También en este sentido se ha citado la posible acción biodeteriorante de la actividad vital de algunos mamíferos, como los damanes de El Cabo (*Procavia capensis*) cuya orina, cuando interacciona con sus excrementos, se ha puesto en relación con la formación de pátinas blanquecinas sobre paneles rupestres sudafricanos en las que aparecen formas inestables de carbonato cálcico como la vaterita y la calcita monohidratada (PRINSLOO 2007). Estudios en laboratorio han permitido demostrar que numerosas bacterias aisladas de muestras ambientales son capaces de inducir la precipitación de vaterita, aragonito y calcita (CAÑAVERAS *et alii* 1999), que se explica por la capacidad de las bacterias heterótrofas y sus *biofilms* asociados para mantener microambientes aislados en los que se crean condiciones de mayor alcalinidad y baja presión parcial de CO₂, produciéndose la precipitación de carbonatos de calcio como vaterita/aragonito/calcita. Las progresivas desgasificación y precipitación de carbonatos de calcio pueden inducir posteriormente la saturación y precipitación de huntita e hidromagnesita (CAÑAVERAS *et alii* 2001). Estudios recientes han encontrado elementos

esferoidales o hemiesferoidales de carbonato cálcico asociados a colonizaciones microbianas que pueden corresponder con vaterita (CUEZVA *et alii* 2009). Independientemente de que la neoformación de minerales pueda deberse a las características de las excreciones animales o a las bacterias que proliferan sobre ellas, se verifica una relación clara entre estas deposiciones y el biodeterioro. La acumulación de excrementos, por otra parte, aunque no sea exactamente sobre los paneles, crea una importante fuente de materia orgánica que puede ser aprovechada por otras formas de vida que sí pueden llegar a afectar a los paneles (Figura 2.6).

En estos ambientes, expuestos a las condiciones atmosféricas externas, la sucesión ecológica incluye a cianobacterias, algas y líquenes, que constituyen comunidades complejas con gran potencial deteriorante y abren la puerta a la presencia de briofitas y plantas vasculares mediante la formación de suelo.

La actividad de uno o más grupos de la microflora autótrofa, fotosintética, es muy importante en el deterioro de las superficies pétreas expuestas a la luz natural o artificial, ya que todas las formas vivientes del grupo tienen exigencias ecológico-nutricionales muy simples y en presencia de aire, luz, agua y sales minerales encuentran su hábitat óptimo. Naturalmente, muy diversos factores pueden intervenir en la regulación e intensidad del ataque. Por su carácter autotrófico, estos organismos pueden, en general, considerarse como los colonizadores primarios de estas superficies, estableciendo los primeros pasos en la sucesión ecológica de las comunidades.



Figura 2.6. Acumulación de excrementos de gineta en una de las oquedades contiguas a la Cova dels Cavalls, en el barranco de la Valltorta (Tirig, Castellón). La acumulación de materia orgánica facilita el enriquecimiento del suelo, permitiendo la germinación y desarrollo de plantas vasculares. Fotografía del autor.

Por lo general, estos microorganismos no se establecen de forma aislada sino que, por el contrario, lo hacen desarrollando estructuras coloidales más o menos complejas denominadas biopelículas o *biofilms*. Estas biopelículas constituyen una estrategia de adaptación ubicua seguida por la mayoría de consorcios de microorganismos que les permite atenuar las condiciones ambientales. Así, los microorganismos fototróficos se desarrollan en un medio constituido por una o varias capas de células inmersas en una matriz polimérica hidratada (EPS, de *extracellular polymeric substances*) que une a las células entre sí y a la superficie. Estas EPS pueden incluir diversos elementos, como exoenzimas e inclusiones inorgánicas, como partículas de arcilla o minerales (WILDERER y CHARACKLIS 1989). En estos *biofilms*, los microorganismos usan las irregularidades estructurales de la roca para su adhesión y crecimiento, que se estimula con la mayor disponibilidad local de humedad de las superficies rugosas o porosas, grietas y fisuras (ALAKOMI *et alii* 2004). Las propiedades intrínsecas del sustrato lítico (rugosidad superficial, porosidad, permeabilidad, composición química...) y su grado de deterioro determina la adhesión y extensión sobre y en la piedra, que aporta un nicho protector en el que los microorganismos pueden desarrollarse. La totalidad de las propiedades materiales que contribuyen a la colonización biológica ha sido definida por GUILLITTE (1995) como *bioreceptividad*.

De acuerdo con su patrón de distribución, los microorganismos que habitan las rocas se han clasificado como *epilíticos* y *endolíticos*, y estos últimos en *criptoendolíticos*, *casmoendolíticos* y *euendolíticos* (GOLUBIC *et alii* 1981). Los microorganismos epilíticos desarrollan sus *biofilms* sobre la superficie de la roca, mientras que los endolíticos lo hacen en el interior de la misma, penetrando desde varios milímetros a varios centímetros. Entre los microorganismos que adoptan una estrategia vital endolítica se ha distinguido entre criptoendolíticos, cuando sus comunidades se desarrollan a favor de las cavidades estructurales de las rocas porosas, casmoendolíticos cuando colonizan fisuras y grietas y euendolíticos cuando penetran activamente en la roca mediante la disolución del sustrato (Figura 2.7).

Estos microorganismos de vida endolítica, o litobióticos, se caracterizan por ser de crecimiento lento y poseer alta tolerancia al *stress*. Pueden sobrevivir en hábitats naturales inhóspitos desde los desiertos cálidos y zonas semiáridas (BELL 1993) a los desiertos fríos (FRIEDMANN 1982), pasando por rocas situadas en fosas oceánicas (INAGAKI *et alii* 2002), y no resulta extraño encontrarlos en lugares menos inhóspitos, como las superficies verticales de edificios históricos (SAIZ-JIMENEZ *et alii* 1990, ASCASO *et alii* 1998, SALVADORI 2000, DE LOS RÍOS *et alii* 2004, MCNAMARA *et alii* 2006). El microhábitat endolítico da a estos microorganismos protección de la radiación solar intensa y de la desecación, así como provee de nutrientes minerales, humedad y superficies para el crecimiento (WALKER *et alii* 2005). La generalización de la colonización endolítica produce la alteración y disolución de la roca, facilitándose la descamación (Figura 2.8). En ocasiones esta descamación puede afectar a la superficie pintada, ocasionándose pérdidas en los paneles.

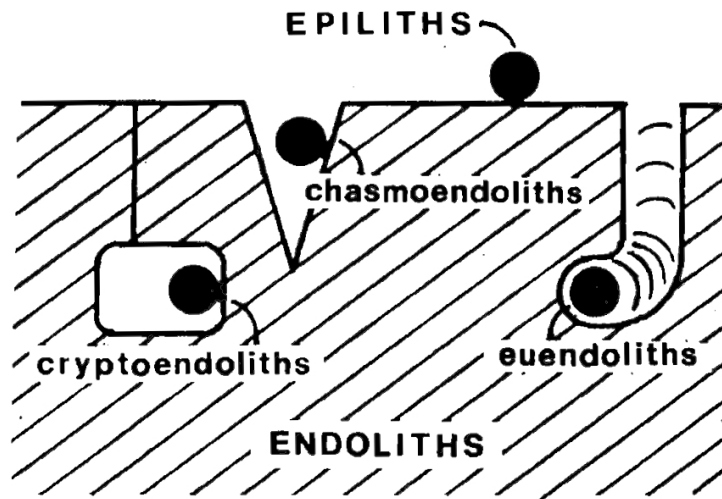


Figura 2.7. Clasificación de los nichos ecológicos de los organismos litobióticos. Según GOLUBIC *et alii* (1981).



Figura 2.8. Colonización endolítica por cianobacterias en el abrigo de Muriecho L (Colungo, Huesca). Fotografía del autor.

Con respecto a la colonización epilítica, en ambientes exteriores, como son abrigos y localizaciones al aire libre, las cianobacterias y las algas normalmente son los primeros organismos que se establecen e inician los procesos de biodeterioro, degradando la roca por acción mecánica y química. Por comparación con la colonización por líquenes, se las ha considerado como practicantes de una estrategia adaptativa *r* (Tabla 2.2) cuando colonizan una superficie pétrea virgen (HOPPERT y KÖNIG 2006). Su presencia se reconoce a través de la formación de páti­nas. Las rocas carbonatadas en particular son muy susceptibles a la colonización por estos grupos de microorganismos (GUILLITTE y DRESEN 1995, MILLER *et alii* 2006, TIANO *et alii* 1995, TOMASELLI *et alii* 2000). Los trabajos citados sugieren además que la mineralogía, la porosidad, la rugosidad superficial, la capacidad de retención de agua así como la composición química del sustrato son parámetros significativos que promueven la colonización microbiana.

Es importante remarcar que especies o géneros microbianos específicos pueden especializarse en litotipos particulares y requieren condiciones ambientales específicas para desarrollarse (KOESTLER *et alii* 1996, TOMASELLI *et alii* 2000). Así, se ha señalado que las cianobacterias epilíticas juegan un importante papel en la disolución del carbonato de las rocas calizas, pudiendo provocar desprendimientos, debido a una disminución en la coherencia de los cristales alrededor de las colonias (ORTEGA-CALVO *et alii* 1991 b).

Tabla 2.2. Algunas propiedades de los organismos que utilizan las estrategias *r* y *K* relevantes para la colonización de superficies pétreas. De HOPPERT y KÖNIG (2006).

	Estrategia <i>r</i>	Estrategia <i>K</i>
Tasa de crecimiento	Alta, exponencial	Baja
Ciclos generativos	Cortos	Largos
Requerimiento de nutrientes por unidad de tiempo	Alto	Bajo
Biotopo típico	No colonizado	Densamente colonizado
	Permanentemente alterado	Estable
	Baja biodiversidad	Alta biodiversidad
Adaptaciones del organismo	No óptimas	Óptimas
	Gran amplitud ecológica	Baja amplitud ecológica
Ejemplo	<i>Stichococcus bacillaris</i> (alga verde)	<i>Verrucaria dufourii</i> (liquis crustáceo)

Muchas algas verdes, por su parte, intervienen en la composición de las comunidades microbianas que colonizan la piedra de construcciones arquitectónicas y las superficies de los ambientes hipogeos. Por ejemplo, *Ctenocladus circinnatus* es un alga verde filamentosa que crece en los estucos de construcciones arquitectónicas en el sur de España (ARIÑO *et alii* 1996). Macroscópicamente se distingue por la aparición de una alteración bajo la forma de mancha o pátina verde, verde-oscuro, negra, variable en tamaño, espesor y extensión, e incluso en la intensidad y tonalidad de los colores. En algunos casos puede observarse microscópicamente la modificación del sustrato, concentrado sobre

todo en las zonas en relieve, que tienden lentamente a desaparecer, fracturándose y pulverizándose con el tiempo.

Los líquenes pueden considerarse como la típica microflora autótrofa que ataca las superficies pétreas (Figura 2.9). Como es sabido, se trata de sistemas simbióticos entre un hongo, generalmente un ascomiceto (micobionte) y un alga eucariótica y/o una cianobacteria (fotobionte). El micobionte se encarga de aportar al fotobionte un entorno seguro y estable, mientras que el fotobionte produce la energía que el sistema necesita para su mantenimiento. Crecen sobre el sustrato que colonizan de muy diversas maneras, formando desde costras adheridas fuertemente al sustrato, o bien escasamente y con aspecto foliar hasta formas cespitosas, de tallo recto y pedunculado. Su consistencia varía desde coriácea, carnosa, hasta herbácea y los colores van desde el anaranjado al verde, gris, blanco o negro. Sus tasas de crecimiento varían dependiendo de la forma de crecimiento, el microhábitat y la especie (KNIGHT *et alii* 2004). Su acción biodeteriorante puede ser de tipo mecánico, o bien mediante el ataque químico de los diversos productos metabólicos originados, fundamentalmente, ácidos orgánicos (KRUMBEIN 1988).

Según KNIGHT *et alii* (2004), el deterioro mecánico de los líquenes puede llevarse a cabo de cuatro maneras diferenciadas:

1. Penetración de las hifas y ricinas del micobionte en grietas y fisuras de la superficie pétrea;
2. Expansión y contracción de los talos liquénicos debido a los cambios en temperatura y humedad;
3. Deformaciones originadas por las sales orgánicas producidas por los líquenes; y
4. Fracturación e incorporación de fragmentos minerales por los talos liquénicos.



Figura 2.9. Panel rupestre al aire libre colonizado por varias especies de líquenes. Núcleo rupestre de Faia (Cidadelhe, Portugal). Fotografía de Pedro Guimarães.

Desde el punto de vista del deterioro de tipo químico, la mezcla del CO_2 procedente de la respiración con el agua produce ácido carbónico, que además de disolver el carbonato, aumenta la solubilidad de la superficie en contacto con los talos liquénicos al bajar el pH (CHEN *et alii* 1999). Por otra parte, muchos líquenes producen metabolitos secundarios, que incluyen algunos ácidos orgánicos débiles que quelan activamente los cationes del substrato, modificando así su estructura física y química (JONES 1988). Específicamente, el ácido oxálico excretado por muchos líquenes reacciona con el carbonato cálcico formando oxalato cálcico, insoluble y que se acumula en la superficie en forma de depósitos blanquecinos o rosáceos. El ácido oxálico también solubiliza silicatos magnésicos. Así, el deterioro originado por líquenes en areniscas puede explicarse por la disolución del cemento, un proceso que se amplifica con la formación de oxalatos de Si, Fe y Al (JOHNSTON y VESTAL 1993).

El alcance del deterioro de las superficies pétreas debido a la acción de los líquenes depende de varios factores, como la densidad del sustrato rocoso, el tipo de líquenes, y la presencia de un ambiente acuoso. Así, un líquen escumoso, que se ancla a la superficie por medio de rizinas o hifas, puede afectar a una arenisca hasta una profundidad de 5 mm o más, mientras que cuando este mismo líquen se desarrolla sobre un sustrato más denso, como mármol o granito, la profundidad afectada no sobrepasará 1 o 2 mm (DANDRIDGE y MEEN 2007). Al mismo tiempo, mientras más poroso sea el sustrato, mejor circulará el agua. En presencia de ésta, los ácidos liquénicos son transportados desde la superficie al interior de la roca por los microporos, afectándola químicamente en profundidad.

Como se ha señalado, la sucesión ecológica, además de microorganismos fotosintéticos y líquenes incluye briofitos y plantas vasculares, a medida que aumenta la disponibilidad de suelo. Las briofitas (musgos, hepáticas y antoceros), por sus importantes requerimientos de humedad, proliferan en las grietas de la roca, que les sirve de protección frente a la sequedad ambiental. Algunos han desarrollado una cierta adaptación a la falta de humedad permaneciendo inactivos, pero vivos, hasta la llegada de un nuevo aporte de humedad, que les permite reactivarse rápidamente (OLIVER *et alii* 2005). Se ha descrito el deterioro mecánico de superficies pétreas debido a la acción de briofitos, ya que sus rizoides pueden penetrar en el material previamente alterado hasta 1 cm, lo que facilita el acceso del agua a niveles profundos. Al mismo tiempo enriquecen en materia orgánica el sustrato, facilitando el desarrollo de microorganismos heterótrofos, que producirán el humus necesario para el establecimiento de las plantas vasculares (SAIZ-JIMENEZ y ARIÑO 2000), así como también se ha señalado la acción biogeoquímica de estos organismos, basada fundamentalmente en su capacidad para el intercambio de iones con el sustrato, en particular los calizos, pero no de manera excluyente (ALTIERI y RICCI 1997).

La aparición de las plantas superiores colonizando los sustratos pétreos puede considerarse el estadio final de esta sucesión ecológica. Sus acciones, biogeofísicas y biogeoquímicas, pueden ser

devastadoras para la conservación de los paneles de arte rupestre, ya que su presencia puede ocasionar la disgregación e incluso la disolución del sustrato (SAIZ-JIMENEZ y ARIÑO 2000).

2.2. ARTE RUPESTRE LOCALIZADO EN CUEVAS

Como puede deducirse de los gradientes representados en la Figura 2.5, en las cavidades con arte rupestre y, en general en los ambientes hipogeos, existe una gran variedad de nichos ecológicos potencialmente colonizables y por tanto una gran diversidad biológica que puede acarrear diferentes riesgos para la conservación de las manifestaciones parietales. La mayor parte de estos nichos ecológicos son ocupados por diversas sucesiones de microorganismos, si bien la presencia de otros elementos bióticos, como las poblaciones de artrópodos o de mamíferos (como distintas especies de quirópteros) puede ser importante, desde el punto de vista de la participación en procesos de biodeterioro.

Se puede afirmar que todos los ecosistemas terrestres, incluidas las cavidades subterráneas, están pobladas por comunidades microbianas cuya diversidad total es, por lo general, insuficientemente conocida, entre otras cuestiones porque cada cueva tiene unas características particulares que la diferencian de otras. Otro de los aspectos que limitan el conocimiento de la diversidad microbiana en cuevas (y por lo tanto su nicho ecológico y su actividad como agente biodeteriorante) es la utilización hasta hace pocos años de métodos de microbiología clásica, basados en el aislamiento y cultivo de los microorganismos. La dificultad que presentan muchas bacterias para su cultivo ha hecho que se minusvalore la biodiversidad total de estos ambientes, que se ha visto muy enriquecida con el uso de técnicas de biología molecular. En este sentido, se ha calculado que las bacterias cultivables constituyen en torno al 1% de la diversidad total (AMANN *et alii* 1995). En resumidas cuentas, los métodos moleculares utilizados se basan en la amplificación mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, *polymerase chain reaction*) de determinados genes (fundamentalmente los del ADN ribosómico 16S y 18S), que se clonan

en un plásmido y posteriormente se secuencian, permitiendo tanto la detección como la identificación de microorganismos, así como la determinación, mediante las secuencias de ARN, de los microorganismos metabólicamente activos de la comunidad (SAIZ-JIMENEZ 2009).

La naturaleza de la sucesión ecológica de la microflora en cuevas es también desconocida. Para algunos autores, las bacterias quimioautótrofas (las que generan su propia materia orgánica y energía a partir de reacciones químicas con elementos del sustrato) son los posibles productores primarios (PECK 1986), mientras otros piensan que estos microorganismos juegan un papel insignificante (CAUMARTIN 1963) y que la materia orgánica que soporta poblaciones heterótrofas proviene del exterior. En este sentido, algunos estudios han demostrado que la cueva de Altamira recibía aportes de materia orgánica y bacterias originados fuera de la cavidad (SAIZ-JIMENEZ y HERMOSIN 1999, LAIZ *et alii* 1999).

Entre las poblaciones autótrofas que pueden estar presentes en cuevas hay que reseñar a las cianobacterias. En las zonas que reciben alguna luz del exterior, cerca de la entrada de las cuevas y en cuevas con iluminación artificial, las cianobacterias pueden llevar a cabo su ciclo vital. Gracias a su capacidad para adaptarse a densidades extremadamente bajas de flujo de fotones y de aclimatarse a una gran variedad de emisiones espectrales, las cianobacterias son los primeros organismos responsables de la formación del *biofilm* sobre la superficie de las rocas expuestas a la luz. Aún más, existen en la naturaleza otras bacterias (familia *Heliobacteriaceae*) que presentan pigmentos fotosintéticos y que se han descrito como fotoheterótrofos, es decir, que efectúan la fotosíntesis, pero deben tomar el C de materia orgánica, u otras que son capaces de efectuar la fotosíntesis utilizando el sulfuro de Hidrógeno (H₂S) o el azufre como agente reductor en lugar del agua y que, por tanto, no emiten oxígeno como subproducto. Algunas de ellas pueden ser aerobias facultativas como algunas bacterias fotosintéticas de la división Chloroflexi (bacterias verdes no del azufre).

En los ambientes hipogeos con alguna iluminación las cianobacterias epilíticas son los organismos dominantes (ARIÑO *et alii* 1997, HERNÁNDEZ-MARINÉ *et alii* 1999, ALBERTANO *et alii* 2003), si bien también están presentes bacilariofitas (diatomeas) y clorofitas (algas). Así, existen numerosos testimonios de la presencia en cuevas de cianobacterias como *Myxosarcina* (ABDELAHAD 1989), *Geitleria calcarea* (FRIEDMANN 1955), *Scytonema julianum* (DOBAT 1977) u otras especies más raras como *Herpyzonema pulverulentum* (HERNÁNDEZ-MARINÉ y CANALS 1994), *Loriella sp.* (HERNÁNDEZ-MARINÉ *et alii* 1999), o *Symphyonema cavernicolum* (ASENCIO *et alii* 1996). Entre las diatomeas, se ha señalado la presencia de especies de los géneros *Diademsis*, *Achnantes*, *Nitzschia*, *Cymbella* y *Orthoseira* (ROLDÁN y HERNÁNDEZ-MARINÉ 2009). Entre las clorofitas, tienden a dominar las unicelulares, como *Bracteococcus minor*, causante de la famosa enfermedad verde de Lascaux (LEFÈVRE *et alii* 1964). Incluso, en las zonas más iluminadas, es posible encontrar líquenes o musgos en estos *biofilms*. Además de este componente fototrófico, puede aparecer una microflora heterótrofa, o quimioautótrofa, compuesta por bacterias y hongos. En función de la mayor o menor disponibilidad de luz, lo que a menudo significa cerca o lejos de la entrada de la cueva, las comunidades de microorganismos heterótrofos alcanzarán mayor o menor importancia en la biopelícula.

Como se ha comentado en varios lugares a lo largo de este trabajo, los microorganismos suelen organizarse en estructuras denominadas *biofilms*. Estos *biofilms* son a menudo de organización compleja, rara vez monoespecíficos. Por el contrario, suelen incluir en su seno a miembros de diferentes grupos taxonómicos. A menudo el *biofilm* está pluriestratificado, definiendo diferentes nichos ecológicos en función de la disponibilidad de luz, nutrientes y O₂. No es extraño encontrar microorganismos anaerobios o anaerobios facultativos en los pisos más bajos del *biofilm* (HAMILTON y CHARACKLIS 1989), mientras que las zonas más externas suelen estar ocupadas por los organismos con mayor necesidad de luz y oxígeno (Figura 2.10).

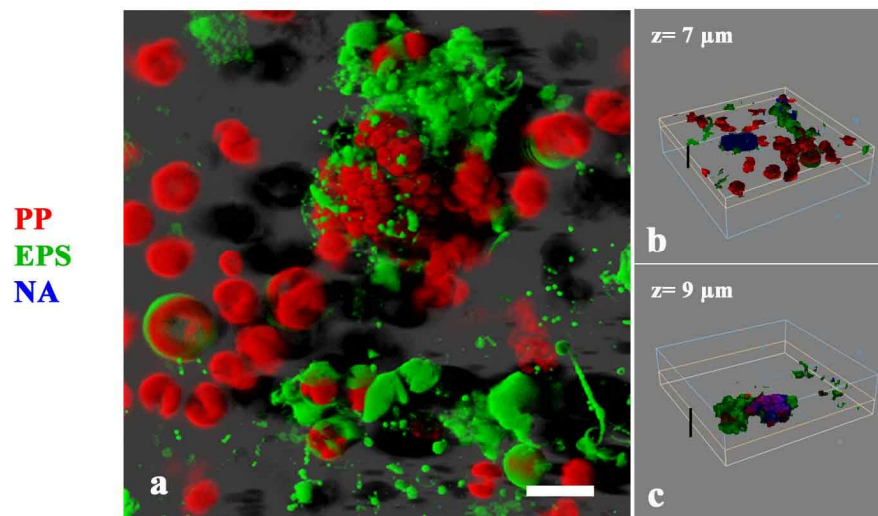


Figura 2.10. Estructura y composición de un biofilm estratificado de la cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba). Izquierda: micrografía confocal de dos canales elaborada por el método SFP (Stimulated Fluorescence Projection) a partir de 69 secciones ópticas x-y (intervalo de z de $0,3 \mu\text{m}$). Derecha, proyección 3D de la composición del biofilm a 7 y 9 μm . En rojo: autofluorescencia de los pigmentos; en verde: EPS; en azul: ácidos nucleicos. Escala: $10 \mu\text{m}$. Fuente: ROLDÁN y HERNÁNDEZ-MARINÉ (2009).

Recientes trabajos basados en la utilización de microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía laser confocal (CLSM) han permitido distinguir entre seis tipos básicos de *biofilms* fotosintéticos presentes en varias cuevas (ROLDÁN y HERNÁNDEZ-MARINÉ 2009), cuyos esquemas se detallan en la Figura 2.11.

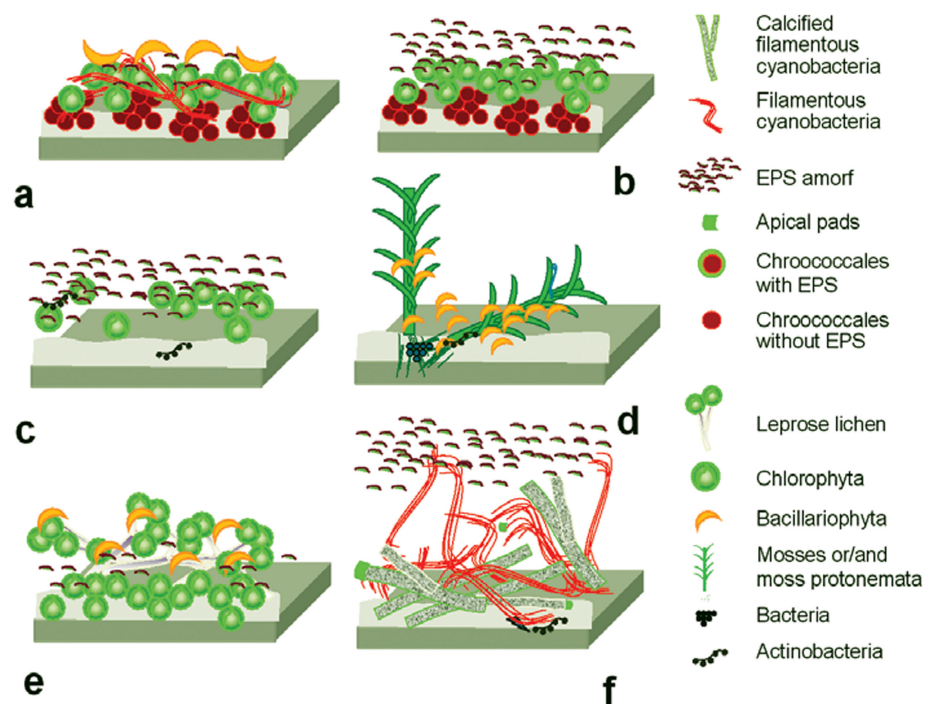


Figura 2.11. Tipos básicos de biofilms fototróficos presentes en cuevas. Según ROLDÁN y HERNÁNDEZ-MARINÉ (2009).

Básicamente, estos tipos de biopelículas presentan las siguientes características:

Tipo 1 (Figura 2.11.a). Incluye varios taxones y se encuentra por lo general estratificado, en relación con el gradiente de luz que recorre el *biofilm*, con una capa superior continua de clorofitas y diatomeas y una capa discontinua de cianobacterias en la base.

Tipo 2 (Figura 2.11.b). También estratificado aunque incluye muy pocos tipos de organismos fotosintéticos.

Tipo 3 (Figura 2.11.c). Formado por uno o muy pocos taxones y sin estratificar. Las clorofitas que aquí aparecen deben ser consideradas como características de una colonización primaria.

Tipo 4 (Figura 2.11.d). Constituido por musgos o protonemas de musgos además de otros microorganismos fotosintéticos.

Tipo 5 (Figura 2.11.e). Compuesto por líquenes además de otros microorganismos fotótrofos.

Tipo 6 (Figura 2.11.f). Estructurado por cianobacterias calcificadas además de otros microorganismos fotosintéticos.

La propia naturaleza de estas biopelículas, y no sólo la acción de los microorganismos presentes en ellas, constituye un factor de deterioro importante para las localizaciones con arte rupestre, dentro y fuera de las cuevas. Así, se ha señalado que la heterogénea composición de las EPS, compuesta de sustancias poliméricas excretadas por los microorganismos, partículas minerales u orgánicas, células muertas, exoenzimas y los propios microorganismos vivos, cubren las superficies como delgados barnices pigmentados que se adhieren como cola y arrastran mecánicamente fragmentos de la superficie (KEMMLING *et alii* 2004). Por supuesto, los distintos microorganismos presentes en los *biofilms* pueden ocupar los mismos o diferentes nichos ecológicos, por lo que en la estructura se teje una compleja red de relaciones inter e intraespecíficas entre los distintos microorganismos, que pueden ser mutuamente competidores o complementarios entre sí, estableciéndose toda una compleja cadena trófica que promueve la adopción de estrategias como el desarrollo de unos métodos de defensa que implican la secreción de sustancias inhibitoras o antibióticas.

En zonas en las que la luz no puede penetrar, o en cuevas que no utilizan sistemas de iluminación artificial que promuevan el desarrollo de *biofilms* fotosintéticos, los distintos nichos ecológicos son ocupados por otros microorganismos, bien de naturaleza heterótrofa, bien de metabolismo quimiolitotrofo. Es decir, se trata

de organismos que no son capaces de producir su propia materia orgánica y dependen de la materia orgánica presente o introducida en la cueva desde escenarios alóctonos, o de organismos autotróficos que obtienen sus fuentes de energía por medio de mecanismos distintos a la fotosíntesis. Como ya se comentó, algunos autores estiman que las bacterias quimiolitotrofas juegan un importante papel en la ecología de las áreas no iluminadas de cuevas. Así, los trabajos de PECK (1986), CUNNIGHAM *et alii* (1995), SARBU *et alii* (1996), LANGECKER *et alii* (1996) o HOLMES *et alii* (2001) consideran a este grupo bacteriano como los posibles productores primarios en estos ambientes. Estudios llevados a cabo en cuevas europeas muestran, no obstante, que las comunidades microbianas encontradas son mayoritariamente heterótrofas (LAIZ *et alii* 2000, GROTH *et alii* 2001, SCHABEREITER-GURTNER *et alii* 2002 a,b, 2004, PORTILLO *et alii* 2008 b, 2009 a, BASTIAN *et alii* 2009 a-c). Entre estas, las acidobacterias representan una importante porción de la diversidad microbiana total. Esta división bacteriana, descubierta tan recientemente como en 1997 (KUSKE *et alii* 1997) no tiene muchos representantes cultivados, por lo que su metabolismo y ecología no es aún muy bien conocido. Otro grupo importante en la diversidad microbiana de las cuevas son las actinobacterias. Antes de la aplicación de técnicas moleculares aparecía como el grupo más representativo en los ambientes subterráneos, pero su abundancia se ha visto matizada por estudios más recientes que aplican estas técnicas. Las actinobacterias se han relacionado con la formación de depósitos de *moonmilk* (CAÑAVÉRAS *et alii* 2006) y la capacidad demostrada en estudios de laboratorio que tienen algunas especies para inducir la precipitación de carbonato cálcico (calcita y vaterita) y carbonato de bario (witherita [BaCO₃]) (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2004), compartida con otras divisiones como Firmicutes, o las clases Alfa, Beta y Gamma-Proteobacteria parecen avalar esta hipótesis. Frecuentemente aisladas en suelos, las actinobacterias juegan un importante papel en la pedogénesis, transformando materia orgánica e inorgánica. Entre sus metabolitos secundarios se encuentran pigmentos orgánicos, por lo que su presencia es una importante amenaza para la conservación de la pintura rupestre.

Los representantes de la división Proteobacteria aparecen de forma reiterada en cuevas, representando, en algunos casos, más de la mitad de las secuencias detectadas (PAŠIĆ *et alii* 2010). Miembros de las clases Alfa, Beta y Gamma-Proteobacteria se detectan recurrentemente en espeleotemas asociados a la acción de microorganismos. De ecología heterótrofa en la mayoría de los casos, su acción puede constituir una amenaza para la capa pictórica. Otros microorganismos frecuentemente detectados en cuevas corresponden a Firmicutes. Especies pertenecientes a esta división, muchas de ellas incluidas en el género *Bacillus*, son capaces de reducir compuestos férricos (GONZÁLEZ *et alii* 1999), con el peligro que esto representa para las pinturas elaboradas con hematites u oxihidróxidos de hierro.

Si bien es difícil encontrar un responsable, lo cierto es que la compleja realidad que comprende las poblaciones y consorcios bacterianos en estos ambientes, puede hallarse asociada tanto a fábricas constructivas como destructivas, con el posible efecto de enmascarar, alterar, cubrir o destruir las manifestaciones rupestres. En una cueva pintada que haya llegado hasta nuestros días manteniendo en un buen estado de conservación las manifestaciones parietales, las medidas a tomar deben tender a intentar mantener la población bacteriana natural de esa cueva, que en buena medida ha sido la responsable de que su contenido cultural simplemente no desaparezca a lo largo del tiempo. Como veremos, el desequilibrio en las poblaciones, debido por lo general a la influencia humana, puede acarrear deterioros mucho más rápidos de los que se hubieran producido dejando actuar a las poblaciones naturales de la cueva. Éstas suelen estar altamente estabilizadas ya que las bajas tasas de intercambio de materia y energía con el exterior han acabado seleccionando las poblaciones, que en muchos casos han coevolucionado contribuyendo a mantener un *statu quo*. La introducción de fuentes de C y de energía, la alteración del microclima de las cavidades y las limpiezas o aplicación de biocidas son factores que alteran el frágil e inestable equilibrio de las poblaciones, seleccionando unos microorganismos con respecto a otros e incluso introduciendo elementos nuevos que pueden desarrollarse de manera agresiva.

Este puede ser el caso de la colonización por hongos en cuevas. Por lo general, los mecanismos que conducen a la proliferación de hongos en determinadas cuevas son desconocidos. El brote suele aparecer de repente, con gran virulencia y no existe constancia de sus causas, por lo que estas circunstancias, unidas al nivel de conocimientos existentes sobre la ecología de las comunidades microbianas en cuevas, hacen que sea muy difícil combatir la infección fúngica una vez que los hongos se han establecido (SAIZ-JIMENEZ 2009). Recientes estudios parecen señalar a los artrópodos como vectores de la propagación de hongos entomófilos y entomógenos (JURADO *et alii* 2008), toda vez que muchos de los hongos aislados en cuevas presentan estas características, lo que ha hecho que se redoble el interés por la presencia de artrópodos en estos ambientes. Muchas especies fúngicas aisladas en cuevas han sido también descritas como entomófilas, entomopatógenas o entomógenas. Así, *Isaria farinosa*, un hongo parásito de un amplio rango de insectos, común en zonas templadas y tropicales, aparece como el segundo hongo más abundante en Lascaux, y *Fusarium solani*, famoso por el importante brote que esta misma cueva sufrió en 2001, se asocia frecuentemente a coleópteros y dípteros (BASTIAN *et alii* 2009 c). Muchas de estas especies pueden producir deterioros estéticos, físicos o químicos. Así, se ha encontrado una clara relación trófica (Figura 2.12) entre especies fúngicas y colémbolos como *Folsomia candida*, puesta en relación con las manchas negras que aparecen en algunas paredes de Lascaux (BASTIAN *et alii* 2009 c, SAIZ-JIMENEZ 2009). Sin embargo, la proliferación rápida de hongos parece tener que ver con incrementos importantes de la materia orgánica en la cueva, que posibilitan que las esporas presentes en el aire germinen y se produzca una colonización catastrófica. Este es el caso de la cueva de Castañar de Ibor (Cáceres), afortunadamente sin arte rupestre, que en Agosto de 2008, en 40 horas y a partir de la materia orgánica introducida por el vómito de un visitante, produjo una colonización masiva de suelos y paredes por *Fusarium solani* y *Mucor circinelloides* (SAIZ-JIMENEZ 2009).

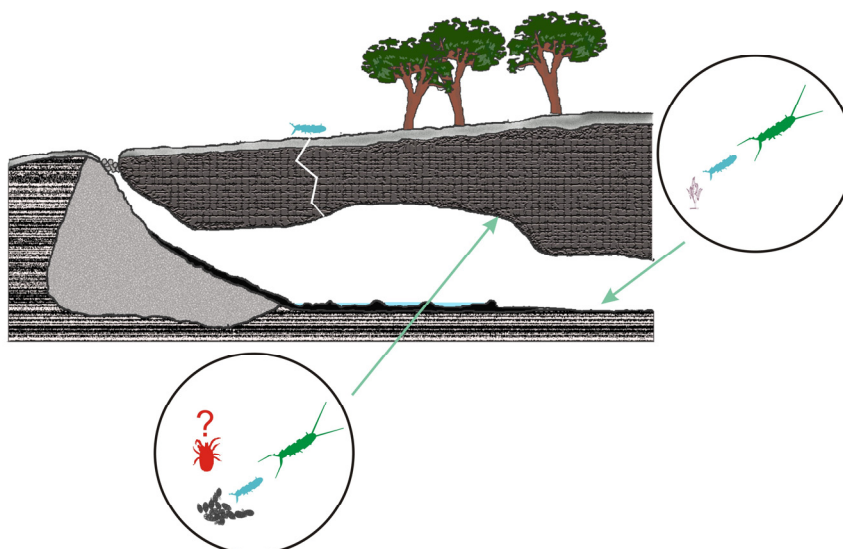


Figura 2.12. Esquema de las relaciones tróficas detectadas en la cueva de Lascaux entre especies fúngicas, *Folsomia candida* (colémbolo) y dipluros. *F. candida*, procedente del bosque situado sobre la cavidad encuentra un nicho favorable en el interior alimentándose inicialmente de *Fusarium* y otras especies fúngicas. Sus heces retroalimentan el desarrollo de esporas fúngicas de diversos géneros, como *Scolecobasidium* produciéndose las características manchas negras, mezcla de hongos melanizados y pellets fecales. Los dipluros actúan como depredadores de los colémbolos.

Entre las principales fuentes de materia orgánica se encuentran las comunidades de mamíferos, como roedores o quirópteros. En el caso de los roedores, la capacidad para generar en pocos días millones de conidios por los hongos especializados en colonizar los excrementos, como especies de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Mucor*, puede facilitar la colonización masiva de cualquier tipo de materia orgánica presente en la cueva (SAIZ-JIMENEZ 2009). El guano de murciélagos, por su parte, es una rica fuente de levaduras y de especies aún por descubrir (SUGITA *et alii* 2005).

En resumen, la parte biótica de los sistemas naturales en los que aparece el arte rupestre presenta una gran complejidad, desde el

punto de vista de la composición, relaciones y actividad de los distintos organismos vivos. Esta complejidad se basa en las diferencias ecológicas de los distintos substratos, la naturaleza de las sucesiones ecológicas y en factores como la contingencia, puesto que impactos puntuales pueden desencadenar reacciones no esperadas. Al mismo tiempo, muchos de estos ecosistemas nos son prácticamente desconocidos tanto desde el punto de vista de la biodiversidad como en lo que respecta a la ecología de los distintos organismos. En general, detectamos la presencia de comunidades biológicas cuando éstas ya son un problema para la conservación del patrimonio rupestre, en buena medida en un sistema ya desequilibrado en el que es difícil, si no imposible, que vuelva a alcanzarse el mismo equilibrio. Entre los miembros bióticos de estos sistemas complejos, los microorganismos representan un papel trascendental que se traduce en su papel en procesos de acreción y erosión que afecta a las capas más superficiales de las rocas, convirtiéndose en una amenaza muy real para la conservación de los testimonios rupestres. Sin lugar a dudas, podemos afirmar que el conocimiento de esta parte del sistema y de su extensión espacial cobra una importancia crucial cuando se trata de proteger a estos frágiles testimonios de la actividad cultural del pasado.

3

Metodología

Los capítulos precedentes han intentado describir en líneas generales una situación muy compleja, como es la problemática en torno a la documentación integral del arte rupestre. En las páginas que siguen se pretenden desarrollar metodologías apropiadas para la documentación de estos bienes y de las amenazas para su conservación que, como hemos visto, radican en la compleja red de relaciones establecidas entre el arte y su entorno, tanto biótico como abiótico. Se ha destacado también la necesidad de que estos métodos impliquen la mínima afección, evitando en la medida de lo posible todo contacto con los bienes a documentar, pero además procurando que los procesos de documentación eviten estancias prolongadas del equipo investigador, específicamente en sistemas de especial fragilidad como son los subterráneos. Además, deben ser lo

suficientemente resolutivos como para poder reflejar la dimensión espacial de los elementos a documentar, puesto que, como comentamos en el Capítulo 1, no todos los procesos actúan al mismo tiempo ni en los mismos espacios. Del mismo modo, la información obtenida debe ser fácilmente explotable mediante herramientas de gestión de la información que permitan una modelización adecuada de los procesos.

Los métodos más apropiados para cumplir con estos requisitos caen necesariamente dentro del ámbito de la teledetección, ya que unen la rapidez en la captación de datos a la existencia de una distancia entre el sensor y los bienes a documentar. Si bien una afección nula es imposible, los métodos que describiremos en las páginas que siguen permiten obtener un caudal de datos analíticos suficiente para cumplir con las restricciones prefijadas asegurando la documentación de los bienes y los elementos del sistema más relevantes para su comprensión. Así, teniendo en cuenta la heterogeneidad de situaciones que podemos encontrar en relación con la pintura rupestre, nuestra exposición será doble: por una parte, se desarrollará el fundamento de los distintos métodos de manera que puedan comprenderse sus ventajas y limitaciones. Por otra, se intentará desglosar un pequeño panorama de necesidades y de soluciones técnicas empleadas para cubrirlas. Finalmente, en cada uno de los casos de estudio que se incluyen en el siguiente capítulo se desarrollará un apartado metodológico específico.

3.1

Técnicas

El modo tradicional empleado en la literatura científica, incluyendo la arqueológica, para representar los procesos actuantes en los sistemas naturales en su dimensión espacial son los esquemas (Figura 3.1). La mayor o menor resolución de estos esquemas, que es función de la escala del estudio que se lleve a cabo, requerirá para su elaboración un número de horas de trabajo directamente proporcional a la misma. Elaborar, con las técnicas tradicionales, un mapeo preciso, se convierte en una tarea tediosa que puede llegar a consumir muchas horas y recursos.

Reflejar las relaciones espaciales, o si se quiere, geométricas, entre los distintos elementos de un sistema, es, en realidad una labor cartográfica, ya que el producto final es asimilable a un mapa temático. En este sentido, la elaboración de una cartografía detallada

puede llevarse a cabo por distintos medios. Una posibilidad es proceder al levantamiento mediante técnicas topográficas, requiriendo el proceso de continuas y precisas mediciones para levantar una red básica apoyada en puntos de referencia que luego servirá de marco para rellenar los detalles del terreno. Otra manera de levantar un mapa es la basada en la fotografía aérea o las imágenes obtenidas mediante sensores emplazados en satélites artificiales. Con este segundo método, el levantamiento del mapa evita mediciones sobre el terreno y desplazamientos, requiriendo tan sólo el tiempo necesario para los trabajos de gabinete, que incide en la identificación de los elementos captados (fotointerpretación) y en la asignación de los valores de los distintos píxeles de la imagen a una serie de conjuntos que reflejen la realidad de un modo comprensible (clasificación). Las técnicas que se presentan a continuación siguen este esquema y pueden encuadrarse en el análisis digital de imagen.

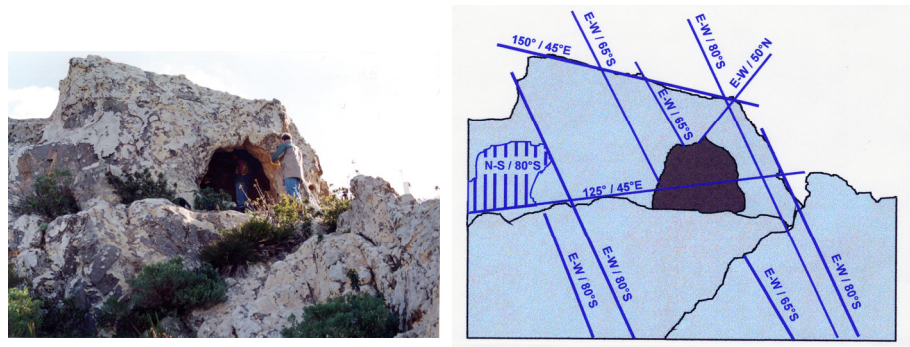


Figura 3.1. Esquema de fisuración en el abrigo de Atlanterra (Tarifa, Cádiz). El esquema representa las direcciones generales de fisuración que permite la infiltración de agua y anticipa futuras zonas de rotura. Fuente: Hoyos et alii (1997).

3.1.1. CONCEPTOS BÁSICOS

A los efectos de este trabajo, entendemos como *imagen* cualquier forma de representación pictórica de los datos obtenidos por un *sensor* (CHUVIECO SALINERO 2002) es decir, de un dispositivo que

detecta radiación electromagnética, la convierte en una señal y la presenta en forma susceptible de ser aprovechada para su estudio.

La magnitud registrada por los sensores remotos es la *reflectividad* (*reflectance*), que se define como el porcentaje de radiación reflejada por una superficie bidimensional (CHUVIECO SALINERO 2002), de los distintos materiales en el abanico de longitudes de onda a las que son sensibles. El sensor traduce esta información a valores numéricos y los ordena de forma matricial. La reflectividad varía entre 0 (superficie plenamente absorbente) y 1 (superficie plenamente reflectora) aunque generalmente se expresa en porcentaje y depende de las características físicas y químicas de los materiales, así como de las condiciones de observación (fundamentalmente los ángulos de iluminación y adquisición).

El principio físico que permite este enfoque es la capacidad que tienen los distintos materiales de reflejar una parte de la radiación incidente, que proviene de una fuente externa, y de absorber otra. Esta absorción de fotones puede describirse por la Ley de Beers:

$$I = I_0 e^{-kx} \quad [1]$$

Donde I es la intensidad observada, I_0 es la intensidad de luz original, k es un coeficiente de absorción y x es la distancia recorrida a través del medio (CLARK 1995).

El coeficiente de absorción es diferente para distintas longitudes de onda, por lo que varía la intensidad observada. Así, vemos la hierba verde porque absorbe todas las longitudes de onda recibidas y tan sólo refleja las que corresponden al color verde. La parte del espectro electromagnético que podemos ver los seres humanos es la radiación comprendida en el intervalo aproximado 400-700 nm de longitud de onda (Figura 3.2). Dependiendo del arco espectral que pueda detectar el sensor que utilicemos, seremos capaces de captar la energía que un objeto refleja en las distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. En el ejemplo de la hierba, podremos observar otras características distintas de su color, como sus

diferencias de humedad, si contamos con un sensor capaz de detectar la radiación infrarroja que refleja.

Los *sensores remotos* son aquellos que obtienen datos numéricos de la superficie sin estar en contacto con ella. Muchos dispositivos diferentes, incluidas las cámaras fotográficas digitales, pueden así entenderse como un sensor remoto, que en el ejemplo citado capta datos de reflectividad en el intervalo de longitudes de onda visibles por el ojo humano. El producto de estos sensores es una imagen digital: es decir, una matriz de puntos (*píxeles*) con diferente valor numérico correspondiente a la reflectividad de la superficie a distintas longitudes de onda.

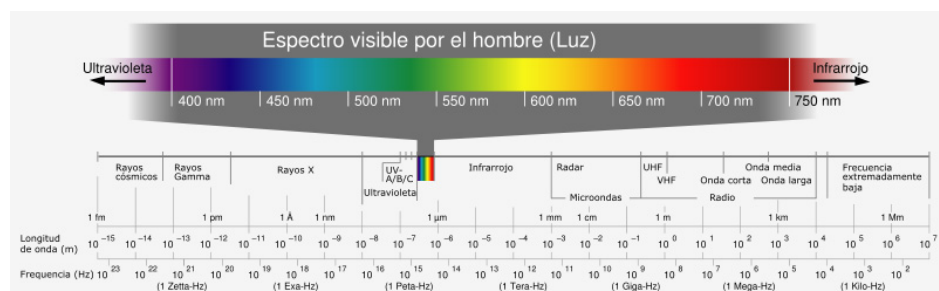


Figura 3.2. Esquema del espectro electromagnético. Fuente: HORST (2005) [<http://www.zeitmaschinen.com/svg/Spektrum.svg>].

Una *imagen multibanda*, o *multiespectral*, es aquella que tiene más de un valor numérico (z) asociado a unas mismas coordenadas (x,y). Cada conjunto de coordenadas (x,y,z) constituye un plano denominado *banda*. Podríamos definir de otra manera las imágenes multiespectrales diciendo que son aquellas compuestas por n bandas tal que $n \neq 1$ (Figura 3.3).

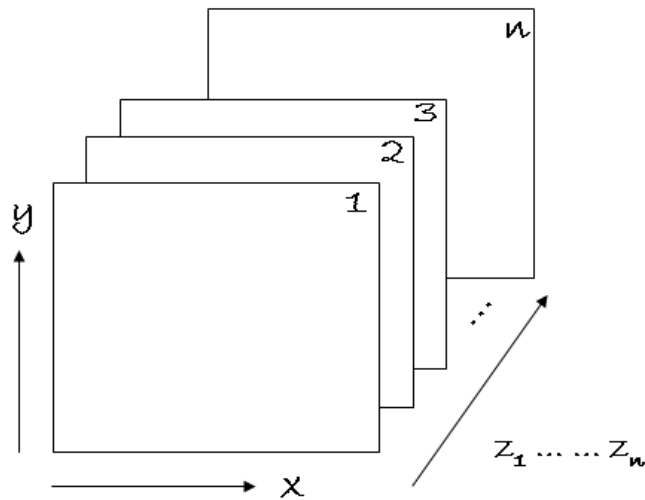


Figura 3.3. Esquema de imagen multibanda, con n planos definidos por sus coordenadas cartesianas y su valor de reflectividad medido en distintos intervalos de longitud de onda.

Si seguimos con el ejemplo de la fotografía digital, las imágenes a color obtenidas mediante una cámara digital estándar son la combinación de tres diferentes bandas, que reflejan la reflectividad en tres rangos diferentes de longitud de onda: el intervalo entre 400 y 500 nm (o banda azul), el comprendido entre los 500 y 600 nm (banda verde) y el intervalo de longitudes de onda entre los 600 y 700 nm (banda roja). La reflectividad medida se codifica en 256 valores que corresponden a otros tantos tonos de gris, codificando el 0 el negro y el 255 el blanco. Estas imágenes son, por tanto, tribanda, o lo que es lo mismo, codifican los valores detectados en tres matrices de datos distintas, una correspondiendo a la banda roja, otra a la verde y otra a la azul.

Como *análisis digital de imágenes* entendemos el conjunto de operaciones matemáticas que efectuamos con las imágenes matriciales obtenidas por cualquier tipo de sensor. Es interesante resaltar que el carácter matricial de las imágenes digitales aporta

datos no sólo de tipo cuantitativo (porcentaje de radiación medido o reflectividad) sino también de tipo espacial, reflejado en sus coordenadas cartesianas (x,y). Estas coordenadas serán, así, las mismas para un píxel determinado, variando tan solo la coordenada z (reflectividad). Por ello, podrán realizarse en estas imágenes correcciones tanto de tipo geométrico como de tipo radiométrico.

Llamamos *correcciones geométricas* a las que no alteran el valor de la coordenada z, sino que tan sólo corrigen los valores de las coordenadas cartesianas. Estas operaciones entran dentro del ámbito de la fotorrestitución digital (ALMAGRO GORBEA 2002), y permiten restablecer una geometría interna coherente de la imagen, eliminando las distorsiones derivadas de las lentes empleadas y del ángulo que adopta el sensor con respecto al objeto de estudio. Las técnicas de fotorrestitución son variadas y necesitan de al menos dos imágenes captadas desde puntos de vista diferentes, aunque en algunos casos, cuando los motivos son sensiblemente planos, puede ser suficiente una sola imagen. Algunos ejemplos recientes, sobre todo aplicados al levantamiento de edificios, pueden encontrarse en la bibliografía (BERBERAN 1999, HEMMLEB 1999, KARRAS y PETSIA 1999, MARK y BILLO 1999, SCHUHR y KANNGIESER 1999, 2001, 2003).

Por su parte, las *correcciones radiométricas* son aquellas que se encaminan a la modificación de los valores originales de z con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen caso de una recepción ideal (CHUVIECO SALINERO 2002). Este tipo de modificaciones encuentra su ámbito de aplicación en imágenes captadas con algún tipo de interferencia o de error sistemático del sensor, o bien, cuando se trata de elaborar series temporales, para adecuar los niveles máximos y mínimos de las imágenes que intervienen en dicha serie y sean, así, comparables (Figura 3.5).

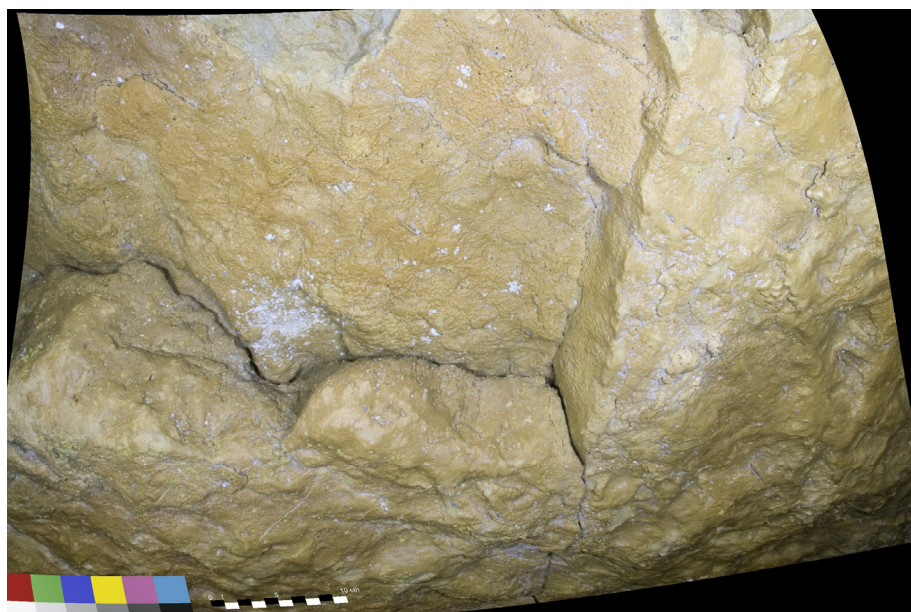


Figura 3.4. Imagen fotorrestituida digitalmente mediante comparación con una imagen de referencia. Elaboración propia a partir de fotografía digital de Pedro López Cañas.

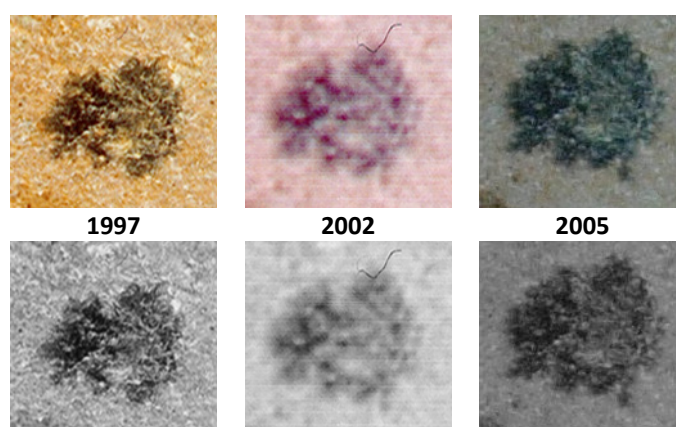


Figura 3.5. Homogeneización radiométrica de una serie temporal de imágenes correspondientes a una de las manchas producidas por una cepa de Streptomyces sp. en las paredes del Mausoleo Circular de la Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla).

Dentro de las técnicas de análisis de imagen incluimos la aplicación de *filtros digitales*. Denominamos así a las matrices de coeficientes numéricos que permiten atenuar o acentuar las gradaciones radiométricas presentes en una imagen. El objeto de estos filtros es aislar componentes de interés o eliminar elementos anómalos. El procedimiento matemático del filtraje consiste en relacionar cada píxel con sus vecinos, de acuerdo a unos coeficientes determinados. En el caso de una matriz de 3 filas x 3 columnas de coeficientes de filtrado, la fórmula para obtener el valor filtrado del píxel sería (CHUVIECO SALINERO 2002):

$$ND'_{i,j} = \frac{\sum_{p=-1,1} \sum_{q=-1,1} ND_{i+p,j+q} CF_{f+p,c+q}}{\sum_{p=-1,1} \sum_{q=-1,1} CF_{f+p,c+q}} \quad [2]$$

donde $ND_{i,j}$ es el valor original del píxel i,j ; $ND'_{i,j}$ el valor de salida para ese mismo píxel; CF el coeficiente de filtraje correspondiente, y f y c la fila y la columna central de la matriz de filtraje. El resultado se aproxima al entero más cercano.

1	1	1	-1	-1	-1
1	1	1	-1	9	-1
1	1	1	-1	-1	-1

Figura 3.6. Ejemplos de matriz de filtrado. Izquierda: filtro de paso bajo. El resultado es el promedio de los 9 píxeles que componen la matriz. Derecha: filtro de paso alto. La ponderación del valor central refuerza el contraste entre el píxel central y los vecinos.

Existen fundamentalmente dos tipos de filtro digital (Figura 3.6): *filtros de paso bajo*, que tienden a destacar el componente de homogeneidad en la imagen, y *filtros de paso alto*, que se dirigen a realzar las áreas de alta variabilidad, donde es más intenso el contraste espacial (es decir, la diferencia de valores entre el píxel central y los que le rodean). Los filtros de paso bajo se utilizan fundamentalmente para reducir el ruido de fondo en imágenes

altamente heterogéneas, o para restaurar los errores aleatorios ocurridos en la captación de la imagen por el sensor. Los filtros de paso alto, por el contrario, remarcan los contrastes entre los píxeles vecinos, enfatizando los rasgos lineales presentes en la imagen (Figura 3.7).

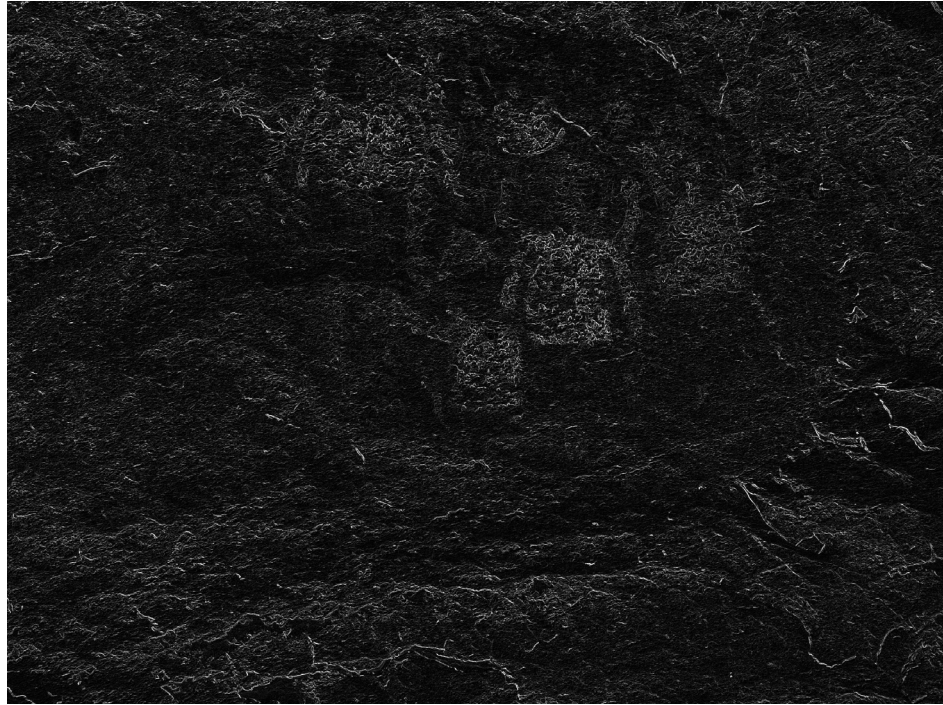


Figura 3.7. Resultado de la suma de imágenes producto de la aplicación de dos filtros de paso alto de tipo direccional (W y NW) al panel rupestre del abrigo de La Coquinera II (Obón, Teruel). La combinación de estos dos filtros permite documentar los arañazos que han destruido parte del panel.

Además de estos filtros lineales, pueden aplicarse filtrajes no lineales, que se dirigen a realzar los gradientes de cambio en la imagen y permiten realzar las fronteras entre categorías. El detector de bordes de Sobel (GONZÁLEZ y WINTZ 1977), por ejemplo, que realza la variación entre filas y columnas de la matriz de filtraje calcula, para una matriz de 3 x 3 el valor de su píxel central de la siguiente manera:

$$ND'_{i,j} = \sqrt{C^2 + F^2} \quad [3]$$

donde:

$$C = (ND_{i-1,j+1} + 2ND_{i,j+1} + ND_{i+1,j+1}) - (ND_{i-1,j-1} + 2ND_{i,j-1} + ND_{i+1,j-1})$$

y

$$F = (ND_{i-1,j-1} + 2ND_{i-1,j} + ND_{i-1,j+1}) - (ND_{i+1,j-1} + 2ND_{i+1,j} + ND_{i+1,j+1})$$

Los filtrajes digitales cambian el valor no solo de los valores visuales (tonos de gris) de la imagen: también cambian el valor original de cada píxel. Por ello, no son muy aconsejables para la clasificación digital, ya que se corre el riesgo de cometer errores en la asignación de los píxeles a clases determinadas (CHUVIECO SALINERO 2002).

Los filtros direccionales son aquellos filtros de paso alto concebidos para reforzar aquellas líneas que sigan determinadas orientaciones. Su nombre viene dado por la dirección perpendicular a la que definen en la imagen. Algunos ejemplos de matrices direccionales de filtrado se exponen en la Figura 3.8.

1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
1	-2	1	1	-2	1	-1	-2	1	1	-2	-1
-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1
	A			B			C			D	

Figura 3.8. Ejemplos de matrices direccionales de filtrado. A. Norte; B. Sur; C. Este; D. Oeste.

Además de la aplicación de filtros digitales, las técnicas de análisis de imagen empleadas para resaltar y/o detectar elementos de interés en las imágenes digitales pueden clasificarse entre las que, para aumentar el contraste intervienen en la radiometría de las imágenes, alterándola, con el resultado de comprimir o estirar el histograma de las mismas y las que, por el contrario, tienen como objetivo la eliminación de datos redundantes, o descorrelación de datos, de cara

a una más fácil interpretación de los mismos, entre estas, por su utilidad, es muy recomendable la utilización del Análisis de Componentes Principales (PCA).

El primer tipo de procedimientos, que denominamos en general *expansión del histograma*, incide en la redefinición de los tonos de gris asociados a los valores del píxel, permitiéndose una mayor nitidez en la visualización de características enmascaradas por esta misma falta de contraste. Esto es posible porque en la mayoría de los casos la superficie de estudio no abarca toda la sensibilidad radiométrica del sensor, quedando libres algunos tonos de gris. En algunos casos, con valores extremos muy marcados, estas técnicas pueden presentar el inconveniente de la pérdida de datos ya que al reasignar los valores del píxel esos mismos valores extremos pueden quedar ocultos, aunque, por otra parte, se afina la definición de los píxeles con valores incluidos en el rango (CHUVIECO SALINERO 2002). La expansión del histograma (Figura 3.9) puede ser *lineal*, cuando se realiza una expansión uniforme del mismo, basarse en la *ecualización del histograma*, cuando se expande el histograma en función de la frecuencia relativa de los valores de los píxeles y *especial* cuando se aplica sólo a un determinado rango de valores incluidos en el histograma (LILLESAND y KIEFER 2000: 492-495).

De manera general, para una expansión lineal del histograma, el nuevo valor del píxel se calcula según la siguiente expresión (LILLESAND y KIEFER 2000):

$$ND' = \left(\frac{ND - MIN}{MAX - MIN} \right) 255 \quad [4]$$

Donde ND' es el valor de salida del píxel en la imagen resultante, ND es el valor original del píxel, MIN el valor mínimo de todos los píxeles presentes en la imagen original y MAX el valor máximo de todos los píxeles presentes en la imagen original.

Este tipo de técnicas se han aplicado tempranamente al estudio del arte rupestre, principalmente en lo que toca a la elaboración de calcos. Así, RIP (1989) incide en el incremento del contraste mediante

ecualización de modelos RGB y HSI, y la utilización de filtros para la detección de bordes. De manera similar, CLOGG *et alii* (2000) aplican filtros para la reducción del ruido y la detección de bordes para finalizar binarizando los resultados. La implementación de este tipo de técnicas, combinadas con una clasificación elemental de los valores de los píxeles, constituye el grueso de los procedimientos empleados habitualmente para la elaboración de lo que se ha dado en llamar calcos digitales (ROGERIO CANDELERA 2010 b). Otras cubiertas del sistema, como las bióticas, han recibido una atención más temprana, y se centran en los aspectos cuantitativos a partir de técnicas de análisis de imagen (como ejemplo, THORNBUSH y VILES 2004 a,b).

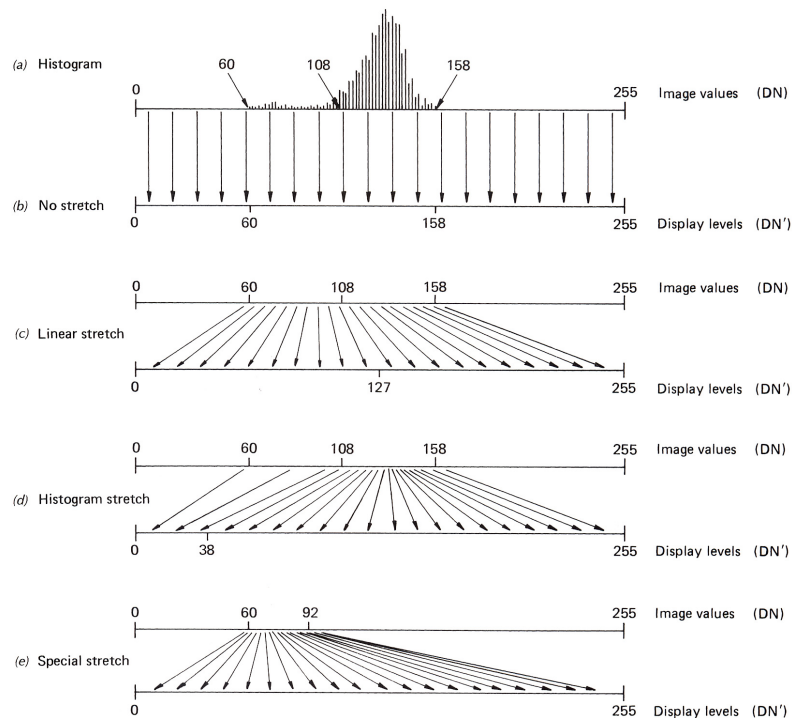


Figura 3.9. Diversas posibilidades para mejorar el contraste de una imagen digital mediante técnicas de expansión del histograma. C. Expansión lineal; D. Ecualización del histograma; E. Expansión especial. Fuente: LILLESAND y KIEFER (2000).

La aplicación de técnicas de descorrelación de datos es interesante sobre todo para imágenes altamente correlacionadas (es decir, cuyos valores de la coordenada z en las distintas bandas están muy próximos entre sí) (GILLESPIE *et alii* 1986, 1987). Algunas de estas técnicas de análisis de imagen se han utilizado con éxito para el incremento del contraste en imágenes de arte rupestre (RIP 1983, MARK y BILLO 2006, LERMA 2001, LERMA *et alii* 2006). Como hemos comentado más arriba, quizá una de las más útiles sea el análisis de Componentes Principales. El PCA resulta muy práctico cuando se trata con varios intervalos espectrales, puesto que permite la reducción del conjunto de datos a un número más manejable, eliminando la información redundante (CETICA *et alii* 2002). Se trata de una técnica de análisis multivariante desarrollada a principios del siglo XX a partir de los trabajos de PEARSON (1901), introducida por HOTELLING (1933) y ampliamente usada en imágenes obtenidas mediante sensores remotos (CHUVIECO SALINERO 2002) que permite representar los datos sobre un nuevo sistema de referencia (Figura 3.10). Las técnicas de análisis multivariante permiten tratar con múltiples variables independientes y/o dependientes, que pueden estar correlacionadas entre sí en grados variables (MARTÍNEZ ARIAS 1999). Aplicada a imágenes de motivos de arte rupestre, el análisis de componentes principales ha mostrado ser una herramienta muy eficaz para visualizar diferencias sutiles (Figura 3.11), inapreciables a partir de medios fotográficos convencionales (VICENT GARCÍA *et alii* 1996), e incluso para mostrar motivos que no eran visibles en absoluto (MARK y BILLO 2006).

En términos generales, las componentes principales de una imagen se obtienen de acuerdo a:

$$CP_j = \sum_{i=1,p} a_{ij}ND_i + R_j \quad [5]$$

donde CP_j indica el valor del píxel correspondiente al componente principal j , a_{ij} es el coeficiente aplicado al valor del píxel de la banda i para generar el componente j y R_j una constante que se introduce en cada componente para evitar valores negativos.

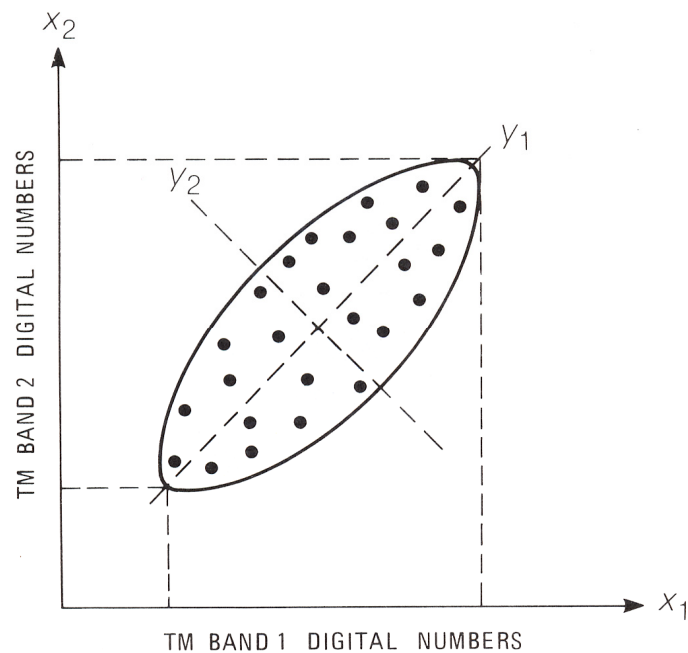


Figura 3.10. Diagrama de dispersión de los valores de los píxeles de dos bandas de una misma imagen e indicación del sistema de referencia basado en sus Componentes Principales. x_1 , valores correspondientes a la banda 1; x_2 , valores correspondientes a la banda 2; y_1 , y_2 , nuevo sistema de ejes coordenados definidos por las Componentes Principales. Fuente: SABINS (1987).

La obtención de los Componentes Principales de una imagen implica una transformación matemática compleja que supone un caso particular del método del factor principal (CUADRAS AVELLANA 1981). De manera resumida, a partir de la matriz de varianza-covarianza de las bandas que componen la imagen original se extraen los autovalores, que son el módulo de los autovectores de los componentes, y por tanto expresan la longitud de los mismos y, en última instancia, el porcentaje de la información original que contienen cada uno. La varianza original explicada por cada componente es la proporción de su autovalor frente a la suma de todos sus autovalores:

$$V_j = \frac{\xi_j}{\sum_{j=1,p} \xi_j} \quad [6]$$

donde ξ_j es el autovalor y p el número total de componentes.

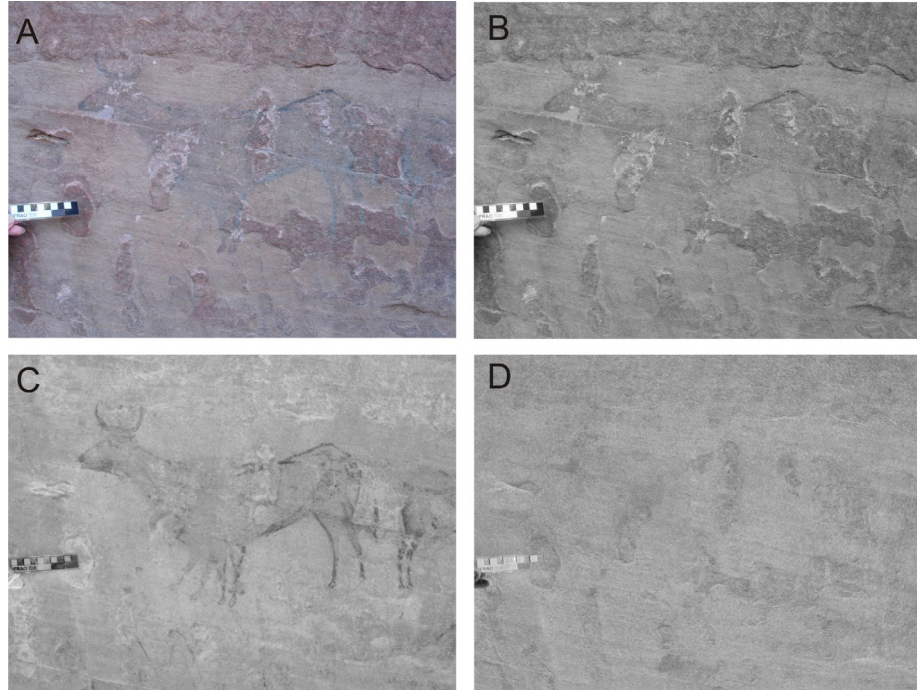


Figura 3.11. Bandas obtenidas al aplicar análisis de Componentes Principales a una imagen digital de un panel levantino del Barranco de las Olivas (Tormón, Teruel). A. Imagen convencional RGB. B. Banda correspondiente a la primera Componente Principal. C. Banda correspondiente a la segunda Componente Principal. D. Banda correspondiente a la tercera Componente Principal.

La técnica de análisis de componentes principales resulta útil cuando nos encontramos con un número elevado de variables correlacionadas entre sí (MARTÍNEZ ARIAS 1999), cuya estructura queremos simplificar, proporcionándole otra lo más simple posible, de manera que se posibilite una interpretación más fácil de los datos. La estrategia del análisis consiste en la obtención de combinaciones

lineales no correlacionadas entre sí y que van explicando cantidades cada vez menores de variación en los datos (MARTÍNEZ ARIAS 1999). Los componentes resumen la covariación entre las variables, es decir, cómo varían unas variables en función de las demás. Mediante esta técnica se obtienen varios ejes nuevos, perpendiculares entre sí y por tanto sin correlación (SHENNAN 1992). La representación de los datos sobre este nuevo sistema de referencia de ejes ortogonales contiene toda la información del conjunto original de variables, razón por la que las imágenes obtenidas por estos medios permiten una clasificación fiable (VICENT GARCÍA *et alii* 1996, CHUVIECO SALINERO 2002). La utilidad del uso del análisis de componentes principales es independiente del número de bandas con las que trabajemos. Los ejemplos comentados más arriba entran en el campo del espectro visible, pero igualmente pueden permitir obtener buenos resultados trabajando con otros rangos de longitud de onda, como el infrarrojo reflejado (BARONTI *et alii* 1997, ATTAS *et alii* 2003).

El trabajo con distintas bandas permite la composición de *imágenes en falso color*. Aunque en teledetección se utiliza habitualmente esta denominación para las imágenes que recogen las bandas entre el verde y el infrarrojo cercano (CHUVIECO SALINERO 2002), nosotros preferimos utilizar este término para referirnos a todas aquellas imágenes en color que se elaboran siguiendo un modo de color RGB que utilice bandas distintas a la roja, verde y azul convencionales, o trasponga estas bandas. Preferimos esta denominación a la de pseudocolor que se emplea en algunos trabajos porque realmente nos permiten trabajar con una composición coloreada, que nos facilitará la detección de detalles y, en este sentido, hablar de pseudocolor resulta confuso. Así, a lo largo de este trabajo hablaremos de imágenes en falso color cuando nos refiramos a cualquier composición en color en la que se utilicen cualquier tipo de bandas, tanto obtenidas directamente por el sensor, como las producidas por medio de combinaciones lineales de los valores de los píxeles (Figura 3.12), o una mezcla de ambas. Aplicaciones de esta a, entre otros objetos de estudio, imágenes de pintura rupestre demuestran que si la combinación de bandas está bien elegida, facilita la visualización (y al mismo tiempo la interpretación) (MARK y

BILLO 2002) ya que el ojo humano advierte mejor diferencias cromáticas que diferencias en tonos de gris (RUÍZ 1994).

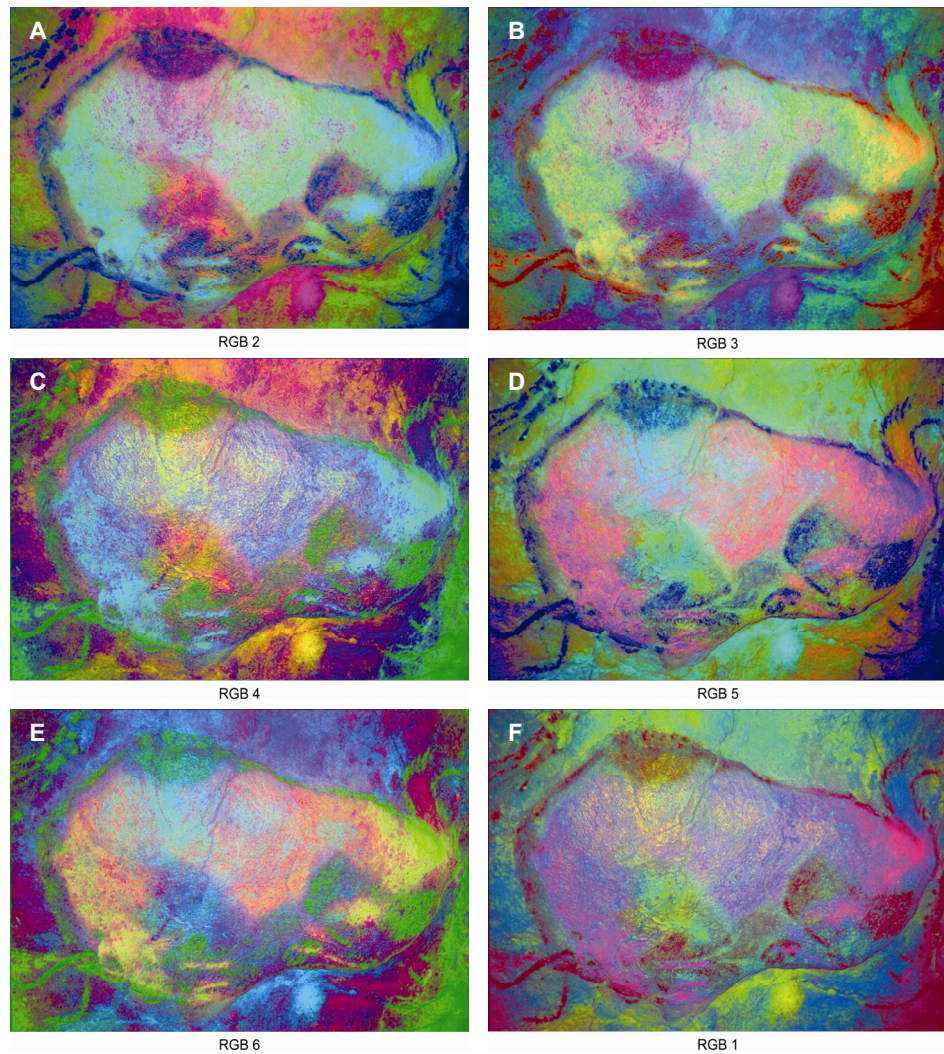


Figura 3.12. Diferentes posibilidades para la composición de una imagen en falso color a partir de las Componentes Principales de una imagen tribanda (RGB). (A) CP1/CP2/CP3. (B) CP3/CP2/CP1. (C) CP1/CP3/CP2. (D) CP2/CP1/CP3. (E) CP2/CP3/CP1. (F) CP3/CP1/CP2. Elaboración propia a partir de diapositiva de Cesáreo Sáiz Jiménez.

Una de las técnicas más útiles en análisis digital de imágenes reside en la aplicación a las mismas de *algoritmos de clasificación*. La clasificación digital consiste en la asignación de todos y cada uno de los píxeles de una imagen digital a una categoría determinada. Ya hemos visto que las imágenes multiespectrales, o multibanda, consisten en un conjunto de datos numéricos ordenados en forma matricial que corresponden a la reflectividad de los distintos materiales y cubiertas en distintas bandas, o rangos de longitud de onda. Las diferencias en reflectividad de los distintos materiales se deben en buena medida a su composición química (VICENT GARCÍA *et alii* 1996), aunque otros muchos factores pueden afectar a la reflectividad de los mismos (VICENT GARCÍA *et alii* 1996, CHUVIECO SALINERO 2002), tales como costras calcáreas, presencia de biopelículas o lavados parciales. Los valores de reflectividad en distintos intervalos de longitud de onda pueden representarse gráficamente en una curva de reflectividad, que permiten establecer las firmas o signatures espectrales, que posibilitan la caracterización de los distintos materiales. (Figura 3.13). A partir de estos valores, puede aplicarse una serie de algoritmos que agrupen los valores del píxel en conglomerados (*clusters*) que respondan a determinadas condiciones de similitud. Según CIHLAR *et alii* (1998), las características deseables para un método de clasificación digital son:

1. Su exactitud;
2. su reproducibilidad dadas las mismas variables de entrada;
3. su robustez (lo que implica cierta falta de sensibilidad a los pequeños cambios en las condiciones de entrada, pero permitiendo explotar la información que aporten las variables);
4. su exhaustividad, cubriendo toda el área de estudio; y
5. su objetividad.

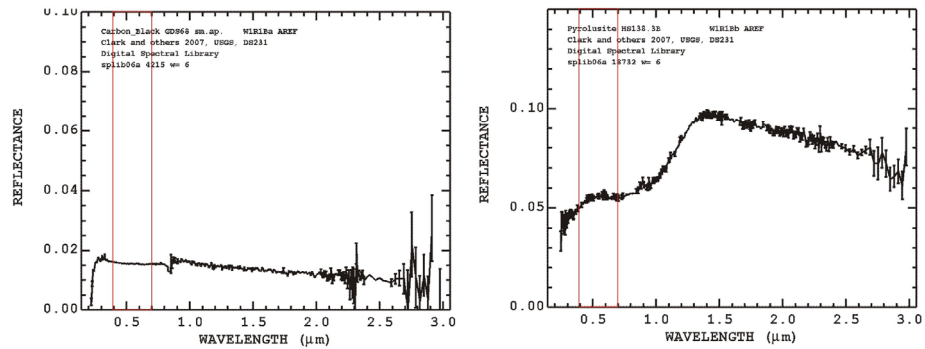


Figura 3.13. Izquierda: Signatura espectral del carbón vegetal. Derecha: signatura espectral de la pirolusita (MnO_2). Ambos compuestos han sido utilizados ampliamente como pigmentos negros para elaborar paneles rupestres, sin embargo, sus características ópticas son muy diferentes, por lo que pueden ser diferenciados mediante análisis multiespectral de imagen, incluso en el intervalo visible de longitudes de onda (área enmarcada en rojo). Elaboración propia a partir de la librería espectral del United States Geological Survey, *splib06a*. [<http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>].

Básicamente podemos hablar de dos tipos de clasificaciones: clasificaciones no supervisadas y supervisadas. Las clasificaciones *no supervisadas* son aquellas realizadas de manera automática y el resultado será un conjunto de clases o conglomerados que, en función del algoritmo aplicado, serán más o menos congruentes con la realidad que aparentemente refleja la imagen, pero que de todas maneras dan una idea de la variabilidad de los valores de los píxeles, reflejando clases más o menos reales (a veces una sola clase identificada visualmente puede estar dividida en dos o más, reflejando diferencias que habrá que explicar). El otro tipo de clasificaciones se conoce, como hemos mencionado, como *supervisadas*, y consisten en la asignación de los píxeles a un conjunto de clases previamente definidas. En este ámbito es donde cobran importancia las signaturas espectrales, ya que permiten una identificación precisa de los elementos que estamos clasificando. Una clasificación precisa en función de signaturas espectrales sólo puede llevarse a cabo sobre imágenes cuyas bandas hagan una referencia directa a un intervalo de longitud de onda. La clasificación utilizando

como término de comparación signatures espectrales sobre imágenes filtradas o sobre bandas obtenidas sintéticamente no permitirá obtener resultados fiables. No obstante, esto no quiere en modo alguno decir que no pueda hacerse una clasificación digital de las imágenes sobre las que se ha trabajado con técnicas de descorrelación de datos.

Las signatures espectrales suelen construirse a partir de los datos obtenidos mediante espectrorradiómetros de campo, y almacenarse como librerías espectrales. Varias de estas librerías se encuentran disponibles en Internet, aunque todas ellas se han construido con vistas a aplicaciones de teledetección espacial. Así, muchas de estas signatures no son extrapolables a la documentación de los sistemas en los que se encuadran las manifestaciones artísticas parietales, aunque sí lo son los espectros de minerales y sus mezclas, utilizados por lo general en prospección geológica por satélite. La creación de librerías espectrales específicas, con valores obtenidos en laboratorio y en campo es una de las herramientas que puede permitir una más correcta utilización del análisis de imagen para la documentación del arte rupestre.

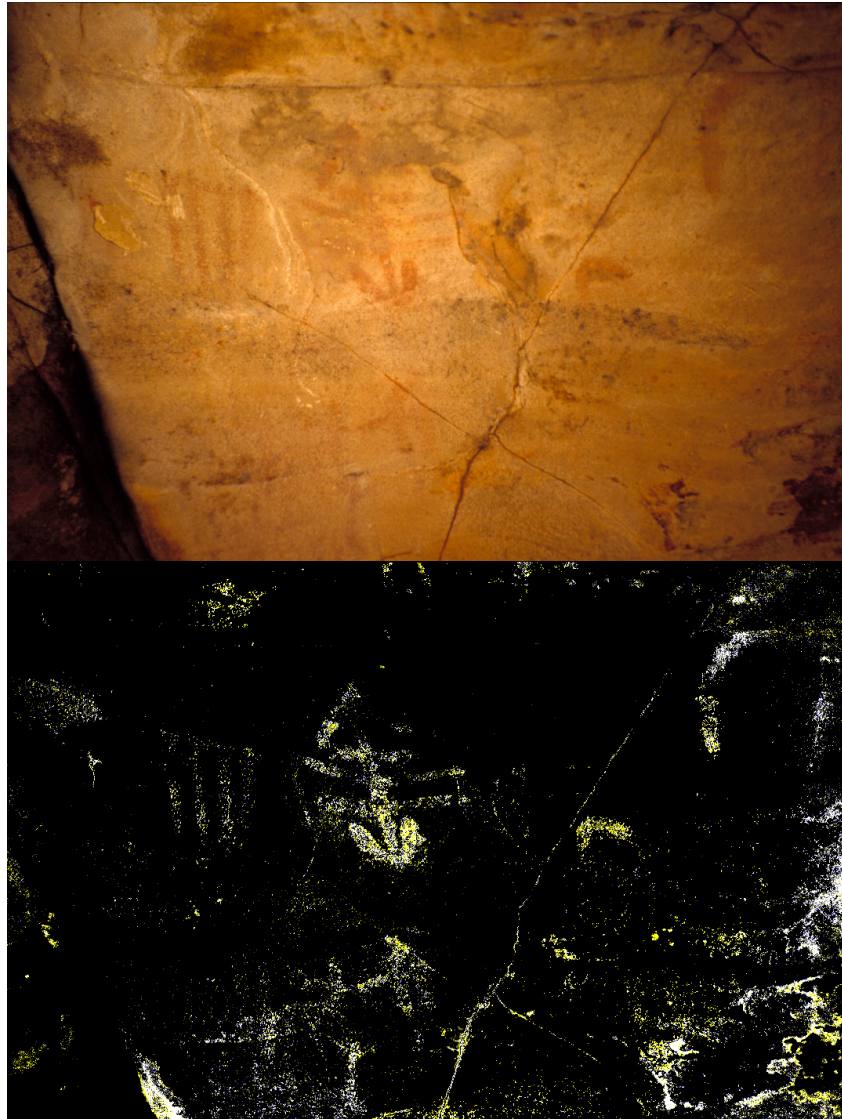


Figura 3.14. Arriba: Imagen parcial del panel D de la Cueva del Arco (Benalup-Casas Viejas, Cádiz). Abajo: Imagen en falso color (AD1[3], AD1[3], ED1[3]) elaborada a partir de los resultados de la aplicación de dos algoritmos diferentes de clasificación supervisada a partir de 20 puntos de control: AD1 (diferencia absoluta entre los valores), y ED1 (distancia euclídea entre los valores). Los píxeles en negro definen la clase no-pintura. Elaboración propia.

Sin embargo, es posible una clasificación supervisada de los elementos presentes en una imagen sin tener en cuenta las firmas espectrales de los mismos. La clasificación en este caso se realiza a partir de unas *áreas de entrenamiento* previamente definidas por el clasificador, que consisten en la definición de áreas homogéneas de la imagen que den cuenta de las cubiertas básicas identificadas mediante fotointerpretación. Las áreas de entrenamiento son conjuntos de píxeles que pertenecen a una clase determinada y que deben corresponder a la variabilidad de la clase. Una vez establecidas las clases, puede procederse a su agrupación mediante algoritmos más o menos sencillos (Figura 3.14). La complicación del algoritmo empleado variará en función de la mayor o menor homogeneidad de las clases de interés.

En las clasificaciones supervisadas se definen categorías de información útiles y luego se examina su separabilidad espectral. Por el contrario, con las clasificaciones por métodos no supervisados el objetivo es determinar clases espectralmente separables para luego definir su utilidad en términos de información (LILLESAND y KIEFER 2000). Un tipo de algoritmo ampliamente utilizado para la clasificación no supervisada de imágenes digitales es el conocido como *K-means* (Figura 3.15). En esencia consiste en predefinir un número esperado de clases presentes en la imagen, y estimar un número de iteraciones del algoritmo. A partir de aquí, se calculan centroides arbitrarios y se agrupan los píxeles en función de su cercanía a estos centroides. Una vez clasificada la imagen, se redefinen los vectores medios de los centroides de los clusters y el procedimiento vuelve a comenzar. Una vez finalizado el proceso, es el clasificador el que determina, desde un enfoque fotointerpretativo, la naturaleza de las clases detectadas.

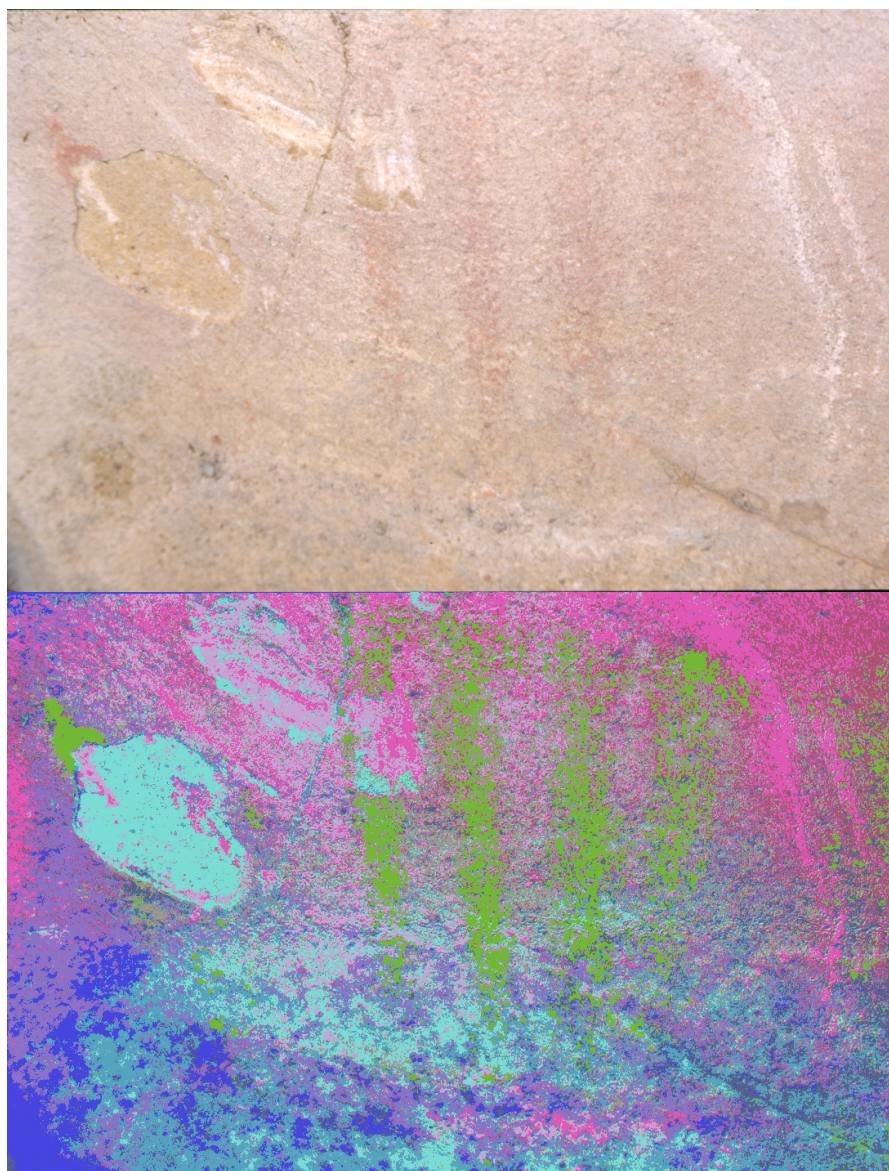


Figura 3.15. Clasificación no supervisada tipo K-means (10 clases, 20 iteraciones) de un cubo de imagen elaborado a partir de las bandas correspondientes a las componentes principales de un detalle del panel D de la Cueva del Arco. Arriba: fotograma original. Abajo: imagen clasificada. Entre las distintas clases, puede reconocerse el color verde como pintura.

Hay que mencionar, por último, la utilización de métodos híbridos, o mixtos, de clasificación que pretenden aprovechar las potencialidades de ambos enfoques. Podríamos diferenciar estas últimas metodologías en dos grandes grupos:

1. Trabajos que utilizan el análisis supervisado para guiar el no supervisado, por ejemplo utilizando métodos no supervisados sobre áreas de cubiertas conocidas, lo que facilita la definición espectral de las mismas; y
2. trabajos que aplican análisis supervisados y no supervisados separadamente sobre las mismas imágenes para luego sintetizar las medidas extraídas por ambos.

Independientemente del tipo de método que se emplee para clasificar una imagen, un problema habitual es la proliferación de píxeles de borde (*mixed pixels*), que pueden definirse como aquellos que pueden caer en más de una categoría, por lo general debido a un problema de falta de resolución geométrica del sensor. Debido a esta causa, el tamaño del píxel es mayor que la superficie abarcada por una sola categoría, reflejando valores híbridos que documentan la reflectividad media en ese píxel. Para minimizar la aparición de píxeles de borde se han propuesto varios métodos y, entre ellos, el que se conoce como *clasificador de máxima probabilidad* (MONTERO RUIZ *et alii* 1998, CHUVIECO SALINERO 2002) por su robustez y por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos. En esencia, parte de considerar que los valores del píxel incluidos en cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto permite describir la clase mediante una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y la matriz de varianza-covarianza. Si trabajáramos con una sola banda, podríamos calcular esa probabilidad mediante la expresión:

$$p(x/A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_A^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_A^2}(\text{ND}_x - \overline{\text{ND}_A})^2\right\} \quad [7]$$

que indica que la probabilidad de que un píxel x pertenezca a la clase A , cuyo valor es ND , puede calcularse en función de la media (\overline{ND}_A) y la varianza (σ_A^2) de esa clase.

Una vez determinada la probabilidad de pertenencia al resto de clases, el píxel será asignado a la clase A si, y solo si:

$$p(x / A) \geq p(x / B) \quad [8]$$

para todo $A \neq B$, variando B desde 1 hasta c , siendo c el número de categorías.

La expresión [7] puede transformarse en una función lineal mediante el empleo de logaritmos, con el objeto de agilizar el cálculo, resultando:

$$\ln p(x / A) = -0,5 \ln(2\pi) - 0,5 \ln \sigma_A^2 - \left\{ (ND_x - \overline{ND}_A)^2 / 2\sigma_A^2 \right\} \quad [9]$$

Teniendo en cuenta que algunas clases pueden presentar una mayor extensión superficial que otras, existiendo así mayor probabilidad de presentar valores de píxel desconocidos, parece conveniente introducir en la expresión [8] el concepto de probabilidad *a priori*, que se concreta en la Regla de Laplace, que define la probabilidad de un suceso como el cociente entre casos favorables y casos posibles. Con esta adición, la expresión [8] quedaría:

$$p(x / A) p(A) \geq p(x / B) p(B) \quad [10]$$

para todo $A \neq B$, donde $p(x/A)$ expresa la probabilidad de que un píxel x con un valor determinado pertenezca a la clase A y $p(A)$ la probabilidad *a priori* de que un píxel cualquiera se incluya en dicha clase.

La inclusión de la probabilidad *a priori* no siempre es fácil, porque por lo general se desconoce la extensión de las diferentes clases. Por ello,

muchas clasificaciones obvian este criterio dando a todas las categorías la misma probabilidad *a priori*.

Puesto que se trabaja por lo general con más de dos bandas, la expresión [7] debe extenderse a varias dimensiones, resultando:

$$p(x/A) = (2\pi)^{-\frac{m}{2}} |V_A|^{-0,5} \exp\left\{-0,5(M_x - M_A)^T V_A^{-1}(M_x - M_A)\right\} \quad [11]$$

donde m indica el número de bandas, $|V_A|$ la determinante de la matriz de varianza-covarianza para la clase A; M_x es el vector de los valores de píxel asociado al píxel x ; M_A es el vector de valores de píxel medios de la clase A y los superíndices T y -1 respectivamente la traspuesta y la inversa de las matrices a las que afectan.

Del mismo modo que con la expresión [7], la ecuación [11] puede simplificarse mediante la aplicación de logaritmos:

$$\ln p(x/A) = (-0,5 \ln V_A) - 0,5(M_x - M_A)^T V_A^{-1}(M_x - M_A) \quad [12]$$

El trabajo ya clásico de MONTERO RUIZ *et alii* (1998) hace una completa exposición del fundamento matemático de este clasificador y revisa las posibilidades de la aplicación de este enfoque a imágenes de arte rupestre.

Otra de las técnicas de interés en relación con el análisis digital de imágenes de pintura rupestre reside en la *vectorización* de los resultados. Entendemos la vectorización como el paso de una imagen matricial a otra que define los elementos que comprende en función de atributos matemáticos como forma, posición o color. Las imágenes vectoriales son imágenes interpretadas, que no hacen referencia a la reflectividad original, sino que representan los resultados finales de las distintas operaciones de análisis de imagen efectuadas. Su escalabilidad y su bajo peso en comparación con las imágenes matriciales las hacen el medio ideal para gestionar la

información obtenida mediante análisis de imagen con herramientas relacionales como los sistemas de información geográfica.

En el ámbito específico del arte rupestre, la conversión a formato vectorial se ha empleado para poder trabajar con calcos obtenidos mediante métodos tradicionales a una escala manejable (FOSSATI y ARCÀ 1997, ARCÀ 2000), o para insertarlos en modelos fotogramétricos de sus soportes (BUCHÓN MORAGUES *et alii* 2002). En el primer caso, la vectorización se hacía de manera automática, mientras que en el segundo, las figuras rupestres se vectorizaron manualmente a partir de una ortofoto siguiendo una polilínea que permitió introducir entre 1500 y 2500 puntos por figura. Desde nuestro punto de vista, la vectorización (Figura 3.16) es un paso que debe automatizarse lo más posible, de manera que se evite la fuente de subjetividad que subyace en el calco manual. Para ello, la imagen que se vectoriza debe estar lo suficientemente definida para no generar errores en el proceso que, no obstante, debe ser supervisado.



Figura 3.16. Calco vectorial de la cierva 31 del Abric II de la Cova dels Cavalls (Barranco de la Valltorta, Tirig, Castellón). Elaboración propia.

Las ventajas de la vectorización de los calcos obtenidos se resumen en ARCÀ (2000: 64-65): cada figura o elemento natural puede tratarse

como un objeto diferenciado que siempre puede agruparse con otros similares mediante herramientas de gestión; los calcos vectoriales son escalables, sin pérdida de definición o calidad al reducir o ampliar sus dimensiones; pueden añadirse fácil y cómodamente los elementos gráficos que se necesiten para una mejor comprensión; con respecto a la gestión de archivos informáticos, los generados mediante vectorización son mucho menos pesados que los matriciales; la portabilidad de estos archivos, en particular los generados en las aplicaciones de *Corel* y *Freehand*, es muy grande, permitiéndose la transformación a casi cualquier tipo de formato; por último, los formatos vectoriales son fáciles de manejar y producen resultados de alta calidad para la publicación de los trabajos.

3.1.2. SOFTWARE

El abanico de técnicas de análisis de imagen citadas en el apartado anterior requiere un gran volumen de cálculos que deben, necesariamente, llevarse a cabo mediante programas informáticos. Aunque existen en el mercado muchas herramientas informáticas altamente especializadas, tanto dedicadas al campo de la teledetección, como al análisis de imágenes matriciales, a la edición de mapas de bits o al dibujo vectorial, se ha intentado en los trabajos enmarcados en este estudio doctoral que todo el software utilizado fuera de acceso libre, o al menos de bajo coste, toda vez que las limitaciones presupuestarias de los proyectos de investigación impiden el desembolso que requieren las licencias de algunos paquetes de software muy extendidos. Como se verá, esto no ha sido posible en todos los casos. En las páginas que siguen se hará referencia a los distintos programas informáticos implementados en los estudios de caso.

ASR Digital Image Rectifier

Se trata de un programa de rectificación digital de imágenes desarrollado por Steve Nickerson con el patrocinio del ICOMOS, que permite elaborar ortofotos a partir de una sola imagen. Elaborado teniendo como objetivo aplicaciones relacionadas con la conservación del patrimonio arquitectónico y los levantamientos de

edificios, este programa ofrece importantes aplicaciones arqueológicas. Su interfaz adaptada a programas de dibujo asistido por ordenador como *Autocad* permite el dibujo directamente sobre las fotografías rectificadas. A partir de una serie de medidas que definan un plano tomadas sobre el terreno, el programa permite la proyección de los píxeles de los fotogramas sobre este plano, obteniéndose una imagen escalada que permite efectuar mediciones en todas las direcciones. Entre otras utilidades, el programa permite la calibración de cámaras digitales estándar, mediante la adaptación del algoritmo de KARRAS y MAVROMMATI (2001). Como ya se comentó en el apartado anterior, al utilizar sólo una imagen y no un par fotogramétrico, sólo es posible obtener buenos resultados con superficies suficientemente planas. Las superficies en las que se encuentran las pinturas rupestres no suelen cumplir este requisito, por lo que su uso en esta tesis doctoral ha sido limitado.

Aunque se trata de un programa informático comercial, el bajo coste de sus licencias permite considerarlo prácticamente libre. Existe una versión de demostración disponible en Internet (<http://nickerson.icomos.org>) con todas las funciones del programa licenciado pero con un periodo de uso limitado a cincuenta días.

HyperCube

Este programa, desarrollado por Robert Pazak, del *US Army Geospatial Center*, institución dependiente del Cuerpo de Ingenieros del ejército norteamericano, es una herramienta con múltiples potencialidades específicamente dirigida al trabajo con imágenes multi e hiperespectrales con versiones para Macintosh y Windows. El programa permite trabajar con imágenes de hasta 20.000 x 20.000 píxeles con una profundidad de imagen de hasta 32 bits por píxel; trabajar con o componer cubos de imagen y presentarlos de manera estática o dinámica; elaborar clasificaciones espectrales de imágenes digitales supervisadas y no supervisadas, tanto a partir de las propias imágenes como utilizando librerías espectrales; separar bandas tanto en el espacio de color RGB como en el HSI (tres bandas, que corresponden al *tono*, la *saturación* y la *intensidad*); efectuar análisis de Componentes Principales por los métodos de la matriz de covarianzas o por la de coeficientes de correlación y obtener, junto a

los autovalores, cubos de imagen con las bandas obtenidas; permite aplicar filtros digitales de 3 x 3 o 5 x 5 píxeles; con respecto a la componente espacial de estas imágenes, permite elaborar mosaicos de imágenes; georreferenciarlas; aplicar correcciones geométricas ajustando unas imágenes a la geometría de otras o proyectándolas sobre distintos sistemas de referencia; combinar imágenes así como efectuar operaciones aritméticas con imágenes y datos. El programa puede descargarse libremente del sitio Web del *Army Geospatial Center* (<http://www.agc.army.mil>) en sus versiones para Windows y Macintosh, además de un completo manual de instrucciones y una librería espectral con 49 firmas espectrales.

Por sus importantes posibilidades para efectuar operaciones de análisis de imagen, este paquete de software se ha utilizado ampliamente a lo largo de este trabajo doctoral para diversas aplicaciones, en especial para el cálculo de las Componentes Principales de las distintas imágenes digitales. Las posibilidades para la gestión de la geometría de las imágenes han sido también ampliamente explotadas.

ImageJ

Es un programa de análisis de imagen desarrollado por Wayne Rasband, de los *National Institutes of Health*, agencia de investigación médica dependiente del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. Se trata de un programa de dominio público basado en Java e inspirado en el anterior *NIH Image* para Macintosh. Puede funcionar tanto instalado en cualquier ordenador como en línea a partir de un explorador Web. Su arquitectura abierta permite una gran cantidad de extensiones escritas como *plugins* de Java, que añaden funcionalidades específicas al programa. El programa puede descargarse libremente de la dirección Web <http://www.nih.gov/ij/index.html> junto con un completo manual de instrucciones y una amplia selección de *plugins* para diversas funcionalidades. La Web tiene además un completo conjunto de enlaces a *plugins* alojados en otras direcciones Web que utilizan *ImageJ* como marco.

CorelDRAW Graphics Suite

Se trata de un programa de dibujo vectorial desarrollado por *Corel Corporation* (Ontario, Canadá) que tiene su campo principal de aplicación en el diseño gráfico. El paquete incluye un programa de dibujo (*CorelDRAW*), además de un editor de mapas de bits (*CorelPHOTOPAINT*) y una aplicación para controlar capturas de pantalla (*CorelCAPTURE*). En este trabajo, se ha empleado la utilidad de vectorización de mapas de bits (*PowerTRACE*), que a partir de la versión X3 aparece integrada en *CorelDRAW*. Esta utilidad permite la vectorización automática así como controlar los parámetros de vectorización.

A pesar de ser un programa comercial y, en cierto modo contraviniendo las restricciones previas que habíamos establecido sobre el coste de las aplicaciones informáticas utilizadas, se ha empleado la utilidad de vectorización de *CorelDRAW* por tratarse de un programa de uso muy extendido y por la usabilidad de su interfaz. Los buenos resultados obtenidos, por comparación con otros programas de conversión de mapas de bits a formato vectorial como *Vextractor* (<http://www.vextrasoft.com>), también un programa comercial, o *Auto Trace* (<http://autotrace.sourceforge.net>), programa de uso libre que constriñe el formato de entrada a gráficos png, han aconsejado el uso de la utilidad de *Corel*.

Adobe Photoshop CS

El programa de retoque fotográfico por excelencia, utilizado por prácticamente todo aquel que ha elaborado calcos electrónicos de motivos de arte rupestre. Nuestro enfoque metodológico nos ha hecho rechazarlo como herramienta básica, si bien se ha encontrado cierta utilidad en alguna de sus posibilidades. En algún trabajo anterior, lo hemos utilizado para adecuar la geometría de unas imágenes con respecto a otras con buenos resultados (ROGERIO-CANDELERIA 2008 c), si bien se trataba de superficies planas. Para estos fines, resultan mejores tanto *ASR* como *HyperCube*, ya mencionados. Una utilidad marginal, que hemos empleado siempre que se han efectuado correcciones geométricas en este trabajo, ha sido presentar las imágenes corregidas por otros medios en capas diferentes del mismo archivo para la evaluación de resultados. Si los

resultados han sido suficientemente buenos, se han efectuado selecciones del mismo tamaño en cada una de las capas para exportar los archivos tiff sobre los que se ha seguido trabajando con otro software. De nuevo, se trata de un programa comercial que, no obstante está muy extendido.

3.2

Algunos problemas y soluciones técnicas

En el apartado anterior nos hemos limitado a señalar el fundamento de algunas técnicas de análisis de imagen aplicadas en esta Memoria en mayor o menor medida y de las herramientas informáticas de las que nos hemos servido para ello. En el que ahora nos ocupa relacionaremos algunas de las posibilidades apuntadas por la aplicación de estas técnicas a problemas concretos del ámbito de la documentación integral de la pintura rupestre. No se trata de un catálogo pormenorizado sino, por una parte, de una pequeña revisión sobre lo que se ha hecho en el ámbito del estado español en cuanto a documentación de arte rupestre mediante imágenes

digitales y por otra, de las posibilidades que apuntan la implementación de técnicas de análisis de imagen, posibilidades que deben todavía encontrar un amplio desarrollo experimental que permita depurar protocolos más o menos estrictos. Para finalizar el apartado, ofrecemos una propuesta de protocolo general que, con cambios motivados por el distinto enfoque aplicado a los diferentes casos de estudio, constituye la columna vertebral de nuestra propuesta metodológica para la documentación no invasiva de pinturas rupestres utilizando análisis de imagen.

3.2.1. ESTRATEGIAS DE ELABORACIÓN DE CALCOS DIGITALES DE PINTURAS RUPESTRES

Aunque en demasiados casos la metodología empleada para elaborar calcos digitales no se hace explícita en las publicaciones especializadas, dificultándose así la tarea de evaluar la idoneidad del método usado, entre los trabajos de documentación de paneles de arte rupestre que utilizan técnicas digitales para la elaboración de calcos y hacen explícita la metodología de reproducción encontramos dos tendencias diferenciadas: los que utilizan técnicas basadas en el retoque fotográfico, de un lado, y del otro, trabajos que acometen esta tarea dentro de un enfoque que en otro lugar hemos denominado *analítico* (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2009 b).

3.2.1.A. TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE CALCOS BASADAS EN EL RETOQUE FOTOGRAFICO

Los equipos de investigación que recurren a este tipo de técnicas para documentar arte rupestre utilizan fundamentalmente las potencialidades del *software* Adobe Photoshop u otros programas similares de retoque fotográfico. La mayoría de estas aplicaciones se llevan a cabo sobre paneles pictóricos (CACHO TOCA y GÁLVEZ LAVÍN 1997, CANTALEJO *et alii* 2006, DOMINGO SANZ y LÓPEZ MONTALVO 2002, LÓPEZ MONTALVO y DOMINGO SANZ 2005, MAURA y CANTALEJO 2004, 2005, SIMÓN VALLEJO *et alii* 2005 a,b, TEIRA y ONTAÑÓN 2003), aunque también sobre grabados (ALCOLEA y DE BALBÍN 2006, CANTALEJO *et alii* 2006, DOMINGO *et alii* 2004, MAURA y CANTALEJO 2004, 2005). Para las pinturas, la elaboración de calcos mediante este tipo de estrategias

implica el trabajo por capas (*layers*) y la selección de los umbrales de color pertinentes a partir de fotografías digitales, que se copian en otra capa, repitiendo el proceso cuantas veces sea necesario hasta conseguir reflejar en la nueva capa el motivo delineado por los pigmentos. Estos procedimientos son de aplicación sencilla lo que explica que la gran mayoría de los calcos digitales realizados recientemente lo hayan sido siguiendo estos métodos, aunque resultan de realización laboriosa y necesariamente lenta¹.

Hay que reconocer a este tipo de estrategias su carácter no invasivo, ya que no implican contacto con los paneles, por lo que son preferibles a los métodos tradicionales de documentación. Sin embargo, la elaboración de un calco fiable implica reproducir de manera coherente la geometría de lo representado. El problema de registrar correctamente las relaciones geométricas internas de cada uno de los motivos de un panel y las de cada motivo con los demás ha sido, en algunos casos, minimizado, como en el caso de Ardales, señalando que "... los resultados obedecen a nuestra percepción visual, ya que, en este momento, el fenómeno de anamorfosis se nos antoja irrelevante en el caso de Ardales." (CANTALEJO *et alii* 2006: 51); en otros no reconocido explícitamente, puesto que no se aporta una solución metodológica al problema (CACHO TOCA y GÁLVEZ LAVÍN 1997, SIMÓN VALLEJO *et alii* 2005 a,b), y en otros casos reconocido en su complejidad (LÓPEZ MONTALVO y DOMINGO SANZ 2005) y afrontado con una decisión metodológica explícita. En buena medida, el problema de pasar una superficie de tres dimensiones (el panel) a otra de dos (el calco) es un problema no sólo de anamorfosis, algo fácilmente resoluble si se conocen los parámetros de la cámara fotográfica utilizada para documentar los paneles, sino de proyección cartográfica. La decisión que se tome en cada caso sobre el tipo de restitución bidimensional que se utilice debería explicitarse siempre

¹ No creemos que los cálculos de tiempo expresados en MAURA y CANTALEJO (2004: 326) puedan ser generalizables. Para motivos bien contrastados con respecto al soporte, estos métodos pueden ser suficientemente rápidos. El resultado, en términos de tiempo de elaboración, no puede ser el mismo para motivos poco contrastados si el objetivo es realizar un calco fiable.

al publicar los calcos, al igual que los buenos mapas indican la proyección utilizada.

Para la documentación digital de los grabados, se refiere la utilización de filtros, dibujo sobre la pantalla (CANTALEJO *et alii* 2006, MAURA y CANTALEJO 2004, 2005) o la combinación de ambos procedimientos (ALCOLEA y DE BALBÍN 2006). Un tratamiento ligeramente distinto es el implementado por DOMINGO *et alii* (2004) para registrar los grabados levantinos de Barranco Hondo, que combina el calco directo con el dibujo sobre imágenes en color invertido. Cabe destacar que en varios de los trabajos consultados es habitual la cita a los trabajos pioneros en la bibliografía española sobre análisis de imagen aplicado a la documentación gráfica de arte rupestre (MONTERO RUÍZ *et alii* 1998, VICENT GARCÍA *et alii* 1996, y, en menor medida, MONTERO RUÍZ *et alii* 2000). En algunos de estos trabajos, se declara estar siguiendo la propuesta explicitada en el primero de los artículos citados (SIMÓN VALLEJO *et alii* 2005a: 281, 2005b: 114), que consiste fundamentalmente en la aplicación de algoritmos de clasificación a imágenes digitales, cuando en realidad se emplean técnicas de retoque fotográfico, utilizando para ello Adobe Photoshop (SIMÓN VALLEJO *et alii* 2005a: 279, 2005b: 114). En algún caso, se simplifica al identificar clasificación espectral de la imagen con tratamientos de retoque fotográfico, ya que se define esta primera, pero se emplea el segundo procedimiento (CANTALEJO *et alii* 2006: 50). Cabe remarcar que todo proceso de selección de color constituye, en sí mismo, una clasificación de la imagen, si bien la más básica, que consiste en seleccionar una sola clase de entre todas las posibles. El proceso se hace repetitivo porque no se abarca la variabilidad de la clase, necesitándose de sucesivas selecciones para completar el calco. La clasificación espectral, como ya hemos explicado en el apartado anterior, implica la asignación automática de todos y cada uno de los píxeles a diferentes realidades físicas presentes en la imagen, en función de sus niveles digitales y de un algoritmo de agrupación que minimice la aparición de píxeles de borde, es decir, aquellos que, en función de sus niveles digitales, pueden pertenecer a más de una categoría (MONTERO RUÍZ *et alii* 1998: 166).

La aplicación de estas técnicas de retoque fotográfico a pinturas rupestres puede ser un método válido (y de hecho lo es, a juzgar por los resultados publicados) para elaborar calcos digitales de motivos suficientemente contrastados con respecto al soporte. Sin embargo, la bondad del método se pone en entredicho cuando se trata de imágenes altamente correlacionadas, en las que los motivos son difícilmente apreciables debido a factores tales como la composición de la roca soporte y capa pictórica (calizas ricas en óxidos de hierro y pintura roja por ejemplo) o la existencia de elementos que oculten la visión de la pintura como capas de suciedad, coladas de travertino o desarrollo de biofilms (Figura 3.17). En estos casos, se hace necesario un tratamiento alternativo que permita destacar la pintura presente.

El procedimiento más habitual para la mejora del contraste es la ecualización de la imagen (así, CACHO TOCA y GÁLVEZ LAVÍN 1997: 13, o DOMINGO SANZ y LÓPEZ MONTALVO 2002: 77, por ejemplo, si bien estas últimas autoras abogan por un alcance “lo más reducido posible”). Mediante este tratamiento se expande el histograma, lo que implica redefinir el valor de los píxeles en función de unos nuevos valores digitales máximo y mínimo. Aunque en muchos casos se consigue incrementar el contraste, estas operaciones tienen como principales inconvenientes que eliminan, por una parte, la información de los valores extremos del histograma (los más próximos al blanco y/o al negro) y por otra, alteran de manera no reversible los valores digitales originales de la imagen, eliminándose así su potencial analítico para otros métodos (CHUVIECO SALINERO 2002).



Figura 3.17. Fotografía y calco digital del motivo 16 del abrigo IX de La Saltadora. La colada estalagmítica impide obtener el calco de la zona central del cérvido. Fuente: DOMINGO SANZ et alii (2007).

3.2.1.B. “CALCOS AUTOMÁTICOS” O CALCOS ELABORADOS MEDIANTE UN ENFOQUE ANALÍTICO

La alternativa al tipo de calcos digitales descrito en el apartado anterior viene dada por lo que algunos autores han llamado calcos “automáticos” (VILLVERDE BONILLA 2007, LÓPEZ-MONTALVO y DOMINGO SANZ 2009). El automatismo en los calcos es un *desideratum* creemos que inalcanzable. Los diversos procesos que cada panel ha podido sufrir lo convierten en algo único, y no solo desde el punto de vista cultural, por lo que los procedimientos de documentación digital, aunque puedan llegar a estar altamente estandarizados, no pueden aplicarse de manera automática sin arriesgarse a perder información o a registrar información errónea. Se ha afirmado que el proceso de calco implica una labor de desciframiento e interpretación por parte del autor (LORBLANCHET 1995: 113, LÓPEZ MONTALVO y DOMINGO SANZ 2005: 719) que, en buena lógica, debe impedir su automatización. Sin embargo es también cierto que este mismo proceso de interpretación puede conllevar una importante carga de subjetividad, que puede comprometer el valor científico de la totalidad del proceso de observación-interpretación (MONTERO RUIZ *et alii* 1998: 157). Si bien la interpretación es consustancial a la investigación científica, la obtención de los datos cobra una importancia crucial ya que la calidad de éstos puede condicionar la interpretación que de ellos se haga. La subjetividad implícita en la decisión del investigador de seleccionar unos u otros niveles digitales con los métodos de retoque fotográfico arriba descritos ha intentado evitarse aportando criterios objetivos sobre los que basar la decisión. Así, la utilización de la imagen digital, entendida como matriz de datos que tienen su correlato real en la reflectividad de los distintos materiales en función de la longitud de onda con la que se los ilumine (o con el arco de longitudes de onda que sea capaz de registrar el sensor) aporta información de tipo físico, que es crucial a la hora de decidir si un conjunto determinado de píxeles corresponde a un pigmento aplicado en un panel o si, por el contrario, se corresponde con la composición del soporte.

3.2.1.B.1. Calcos digitales elaborados mediante estrategias de clasificación

Utilizando técnicas de análisis de imagen en sentido estricto hay dos caminos diferentes para la elaboración de calcos digitales, entendiendo estos como la separación de la capa pictórica con respecto al soporte. Uno de ellos se basa en la clasificación de la imagen, que, como ya comentamos en el Apartado 3.1, puede hacerse utilizando algoritmos de clasificación automática (clasificaciones no supervisadas) o bien, aplicando algoritmos de clasificación que tengan en cuenta áreas de la imagen de composición conocida (clasificaciones supervisadas) (CHUVIECO SALINERO 2002: 379-388). En gran medida, la fiabilidad de la clasificación digital de las imágenes vendrá dada por la cantidad de datos que conozcamos para cada píxel, es decir, para el abanico de longitudes de onda que abarquemos con la imagen. Si sólo contamos para la clasificación con imágenes digitales estándares (tipo RGB, que hacen referencia directa a los intervalos aproximados de longitud de onda 400-500, 500-600 y 600-700 nm) será complicado clasificar de manera fiable pigmentos cuyo comportamiento óptico sea parecido al de la roca soporte. Si podemos contar con información referida a otras longitudes de onda (UV, IR próximo, IR térmico...) tendremos más posibilidades de encontrar comportamientos diferenciales que permitan distinguir claramente entre clases, reduciéndose así los píxeles de borde. Para imágenes RGB suficientemente contrastadas (o poco correlacionadas), las estrategias de clasificación son suficientemente fiables para separar pigmento de soporte (Figura 3.18) y extraer los píxeles correspondientes a los distintos motivos, facilitándose la elaboración de calcos tanto de tipo matricial como vectorial. En la mayoría de los casos, si no se cuenta con información multispectral, este enfoque no es lo suficientemente resolutivo y es aconsejable recurrir a estrategias de descorrelación de las imágenes antes de clasificar.



Figura 3.18. Izquierda: Pormenor de uno de los paneles rupestres de Grotta dei Cervi (Porto Badisco, Italia). Derecha: Resultado de aplicar a la imagen de la izquierda un algoritmo de clasificación supervisada. Clases: (1) pintura; (2) no pintura. Elaboración propia a partir de diapositiva de Cesáreo Sáiz Jiménez.

3.2.1.B.2. Calcos elaborados a partir de técnicas de descorrelación de imágenes

El segundo camino para la elaboración de un calco digital mediante análisis de imagen pasa por la descorrelación de las mismas. Cuando los motivos son difícilmente apreciables se hace difícil establecer una clasificación supervisada, por ello, la utilización de técnicas que permitan mejorar la visualización de los paneles evitando la pérdida de información se convierte en una cuestión clave. En este sentido, las técnicas de análisis de imagen se erigen en una herramienta fundamental para trabajar con imágenes altamente correlacionadas, es decir, imágenes cuyos niveles digitales en las distintas bandas (roja, verde y azul) están muy próximos, con el efecto de dificultarse la observación de lo que queda registrado en la misma. Una vez descorrelacionada la imagen, los motivos pueden clasificarse por métodos supervisados y vectorizarse para obtener un calco compatible con sistemas CAD o de información geográfica (Figura

3.19), o bien puede mantenerse una imagen matricial asimilable a un calco elaborado por métodos tradicionales.

Si bien existen varios métodos para descorrelacionar los niveles digitales de los píxeles de una imagen (GILLESPIE *et alii* 1986, 1987), el Análisis de Componentes Principales ha demostrado ser una de las herramientas más potentes y con mayor potencial analítico, toda vez que las componentes de una imagen abarcan toda la información reflejada en la misma, reagrupándola para representarla en un nuevo sistema de coordenadas de ejes perpendiculares entre sí. Como ya se comentó, la estrategia del análisis consiste en la obtención de combinaciones lineales no correlacionadas entre sí y que van explicando cantidades cada vez menores de variación en los datos (MARTÍNEZ ARIAS 1999). Así, La primera CP recogerá la mayor parte de la información reflejada en la imagen, y las siguientes componentes se construirán con porcentajes progresivamente menores de información. En una imagen altamente correlacionada de arte rupestre, las CP minoritarias reflejarán la información más relevante para la elaboración del calco, esto es, la presencia de pintura (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2010 b).



Figura 3.19. Rasterización de un calco vectorial (dwg) obtenido mediante clasificación supervisada de los motivos pintados de la roca 1 de Faia (Cidadelhe, Portugal).

3.2.2. OTRAS POSIBILIDADES QUE SE EXTRAEN DEL USO DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE IMAGEN

Además de las potencialidades ya reseñadas para elaborar calcos, el análisis de imagen es una herramienta capaz de ofrecer otras posibilidades que resultan relevantes tanto para la investigación arqueológica del arte rupestre como para el establecimiento de estrategias de conservación. La descorrelación de imágenes mediante Análisis de Componentes Principales permite, en particular, mejorar la visualización de los paneles, hasta el punto de detectar elementos que han pasado desapercibidos al efectuarse el registro de los paneles mediante métodos convencionales, detectar repintes o distinguir entre fases diferentes y facilitar la asignación de determinados motivos a su fase correspondiente en función de la composición del pigmento utilizado. En los apartados que siguen revisaremos brevemente algunas de estas posibilidades.

3.2.2.A. MEJORAS EN LA VISUALIZACIÓN DE PANELES Y VISUALIZACIÓN DE ELEMENTOS NO DETECTADOS UTILIZANDO MÉTODOS CONVENCIONALES

Como se deduce de la descripción de métodos de elaboración de calcos mediante técnicas de retoque fotográfico que hemos dado más arriba, éstos sólo consiguen reflejar en el calco aquello que se ve. Por el contrario, la aplicación de técnicas de descorrelación de imágenes, y en particular el Análisis de Componentes Principales, permite hacer patentes figuras o trazos no visibles a simple vista (MONTERO RUIZ *et alii* 1998, MARK y BILLO 2006). Como ya hemos dicho, las bandas producto de la transformación por Análisis de Componentes Principales son combinaciones lineales de las bandas originales no correlacionadas entre sí, elaboradas a partir de los niveles digitales de cada píxel en cada una de las bandas originales. Esto permite reducir los datos redundantes en la imagen original explicando cantidades progresivamente menores de información en cada una de las bandas. La cantidad de información resumida en cada banda viene dada por el autovalor de la misma, que es el módulo del autovector que define el nuevo eje de referencia. Por lo general, las componentes principales minoritarias mostrarán la información correspondiente a los pigmentos, por lo que estas, por sí mismas, o

como base para imágenes en falso color, permitirán una visualización mejorada de los paneles en los casos en los que la alta correlación visual de motivos y soporte no lo permita, salvo utilizando métodos desaconsejados por su lesividad potencial, como el humedecimiento de los paneles.

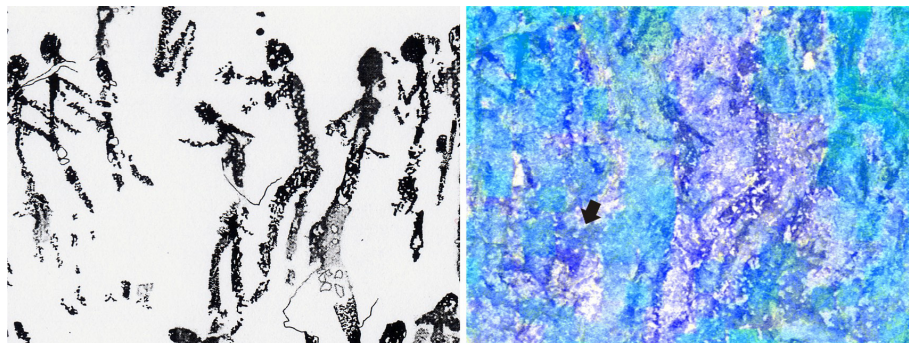


Figura 3.20. Izquierda: Detalle del calco del Panel 1 de Muriecho L, según BALDELLOU et alii (2000). Derecha: Imagen en falso color a partir de las Componentes Principales minoritarias correspondiente a la misma zona. La flecha señala una figura zoomorfa no incluida en el calco. Elaboración propia.

Como la Figura 3.20 permite comprobar, el análisis de imagen se convierte en una herramienta de gran importancia no ya sólo para la elaboración de calcos de manera no invasiva, sino también para establecer de manera segura la presencia de figuras difícilmente detectables por otros medios, así como para evaluar la fiabilidad de los calcos elaborados tanto mediante métodos de contacto directo como digitales elaborados por medio de técnicas de retoque fotográfico. Como hemos expresado más arriba, el número de bandas con las que contemos originalmente para proceder al análisis tendrá mucho que ver con la calidad final de la visualización. Contar con una imagen multiespectral, es decir, con varias bandas que abarquen un intervalo de longitud de onda más o menos amplio, dará mayor consistencia a la visualización, aunque con sólo las tres bandas de una imagen digital convencional en color pueden obtenerse resultados apreciables.

3.2.2.B. DIFERENCIACIÓN DE DIACRONÍAS EN LA REALIZACIÓN DE LOS PANELES

Una de las utilidades más interesantes, y por lo demás poco utilizada, de las técnicas de análisis de imagen estriba en la capacidad para detectar diferentes momentos en la realización de los paneles. Un panel rupestre puede, bien haberse realizado en un momento determinado; bien haberse completado a lo largo del tiempo, constituyendo un panel o escena acumulativa, en la que figuras, en algunos casos de distinta tipología, conviven en un mismo espacio físico. Si la “vida útil” del panel ha sido larga en el seno de una sociedad, o ha sido reinterpretado por sociedades posteriores a la que lo vio nacer, el panel puede haber sido restaurado en una o sucesivas ocasiones, por lo general mediante repintes. Determinar si la escena tiene un momento de pintura único, constituye una escena acumulativa o ha sido repintado, constituye uno de los ámbitos de aplicación más prometedores del análisis de imagen aplicado a la investigación arqueológica de los paneles. En los párrafos que siguen comentaremos estas dos posibilidades

3.2.2.B.1. Asignación de figuras concretas a fases o momentos de realización de los paneles

Aunque en algunos casos la decoración pictórica de abrigos y cuevas parece corresponder con un solo momento, lo habitual es que se documenten distintos episodios en la elaboración de las representaciones parietales, bien mediante la identificación de motivos con una clara diferencia tipológica, bien a partir de la detección de superposiciones entre los motivos, que hace posible extrapolar una cronología relativa entre los episodios decorativos. Las herramientas analíticas empleadas tradicionalmente para detectar estas fases han sido, por una parte, el estudio tipológico de los motivos y, por otra, la utilización de tablas de color para definir el cromatismo de las pinturas y poder así establecer series o estratigrafías cromáticas que, como tales estratigrafías, se presuponen con sentido cronológico.

Puesto que a menudo los restos de las pinturas rupestres no son identificables con motivos que encajen claramente en tipología alguna y que, por otra parte, el color aparente puede deberse no sólo a la composición, sino a otros factores, se hacen necesarias técnicas

que permitan discriminar de manera no destructiva las diferentes composiciones o “recetas” pictóricas, como atributo que permita establecer una cierta seriación entre los motivos aún en ausencia de superposiciones.

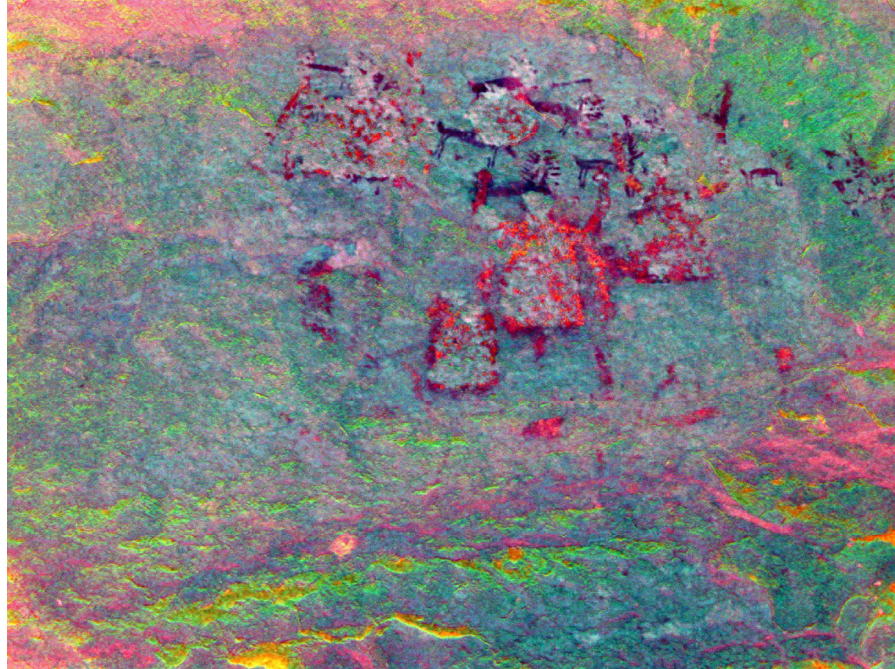


Figura 3.21. Imagen falso color elaborada a partir de las Componentes Principales minoritarias de un cubo de imagen de seis bandas correspondientes al espectro visible de los paneles superpuestos del abrigo de La Coquinera II. Elaboración propia.

Utilizando técnicas de descorrelación de imágenes para detectar diferentes composiciones químicas empleadas en la elaboración de paneles rupestres, combinadas con técnicas de caracterización de los pigmentos pudo establecerse que las técnicas de análisis de imagen, por sí solas, eran suficientes para diferenciar figuras que utilizaban distintos pigmentos, a pesar de ser tipológicamente congruentes, y que por tanto podían haber sido delineadas en momentos distintos (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2009 b). La Figura 3.21 muestra una gran homogeneidad cromática en una de las escenas del abrigo de La

Coquinera II, en Obón, Teruel, pero una cierta variabilidad en el cromatismo de la que se le infrapone. La caracterización de pigmentos mostró que para las figuras de la escena inferior, a simple vista, anaranjadas, había dos pigmentos diferentes elaborados con oxi-hidróxidos de hierro, mientras que el pigmento de la escena superior era uno solo y muy homogéneo, en este caso hematites. La detección, tanto por análisis de imagen como por caracterización de pigmentos, de diferentes recetas para la elaboración de lo que tipológicamente constituye una sola escena representa un argumento a favor de la elaboración de la misma en al menos dos momentos distintos. Por otra parte, la congruencia de los resultados analíticos con los obtenidos mediante análisis de imagen avala la utilización de este conjunto de técnicas como herramienta para la detección rápida y no invasiva de diferencias significativas en la elaboración de paneles rupestres.

3.2.2.B.2. Detección de repintes

Los repintes en paneles rupestres, como en cualquier otro documento pictórico, pueden tener diversas funciones: pueden responder a la corrección de un error en el momento de realización de las figuras; a la alteración de la figura, transformando unos animales en otros, por ejemplo; a la corrección de la figura en momentos posteriores a los de su realización original; o bien a la restauración de una pintura en mal estado, rellenando el color perdido o perfilando las partes deterioradas. En la mayoría de los casos el repinte implicará el paso del tiempo, razón por la que la composición del pigmento utilizado para repintar rara vez será exactamente la misma que la utilizada para la elaboración original, sobre todo en contextos preindustriales en los que resulta muy complicado reproducir una receta de manera idéntica toda vez que la proporción de carga, aglutinante o pigmento en la pintura puede variar, así como el lugar de aprovisionamiento de los diferentes elementos que componen la receta pictórica. Si asumimos que distintas composiciones implican una distinta respuesta óptica de los materiales, a pesar de su proximidad cromática (ROGERIO-CANDELER *et alii* 2009 b, 2010 b), las técnicas de descorrelación de imágenes pueden ser una buena herramienta para documentar este tipo de acciones sobre los paneles rupestres.

Para probar la aptitud de estas técnicas para detectar repintes, se ha utilizado una fotografía digital estándar del Abric II de la Cova dels Cavalls, en el Barranco de la Valltorta. Hemos elegido este panel en función de la detección por métodos visuales de repintes por parte del equipo investigador que últimamente se ha ocupado de él con dos tesis doctorales y una monografía (DOMINGO SANZ 2005, LÓPEZ MONTALVO 2007, MARTÍNEZ VALLE y VILLASVERDE BONILLA 2002). Estos repintes se han identificado por los investigadores citados como episodios de rectificación en la posición de las figuras, detectados por la presencia de manchas informes o borrones, testigos de la posición previa de las figuras, en algunos casos y, en otros, evidenciados por la utilización de pigmentos distintos para redefinir las figuras (Figura 3.22).

Nuestro trabajo sobre la Cova dels Cavalls se ha limitado a la obtención de algunas fotografías con una cámara digital de bajo coste (Pentax Optio M 40) aprovechando la visita en el marco de un congreso reciente y a hallar sus Componentes Principales por el método de la matriz de covarianzas. La Figura 3.23 muestra los resultados obtenidos con una de las imágenes de la escena de la caza de cérvidos. El diferente comportamiento óptico de los distintos materiales hace posible comprobar la existencia de, al menos, dos fases diferenciadas en la elaboración de la escena que nos ocupa, tal como reflejan las bandas correspondientes a la segunda y tercera Componentes Principales. Como en el caso anteriormente citado, se hace necesario comprobar los datos obtenidos mediante análisis de imagen con una inspección visual de detalle, la elaboración de macrofotografías de las zonas que manifiestan la presencia de trazos en la tercera CP y la caracterización de los pigmentos mediante métodos no destructivos para poder descartar la presencia de artefactos ligados a la compresión JPG de los datos que utilizan todas estas cámaras fotográficas, o la variación en la respuesta óptica de los pigmentos debida a otros factores tales como la degradación diferencial de los mismos. Si bien no podemos darle *a priori* un valor concluyente a estos resultados, toda vez que las circunstancias de obtención y la calidad de las imágenes originales no pueden calificarse de óptimas, el valor exploratorio de estos métodos queda fuera de toda duda, puesto que los datos obtenidos tienen su

correlato en la reflectividad real de los materiales. Así, en el caso que nos ocupa, toda la pintura que aparece en la tercera CP se diferencia en algo de la que lo hace en la segunda, y este algo radica posiblemente en la composición.

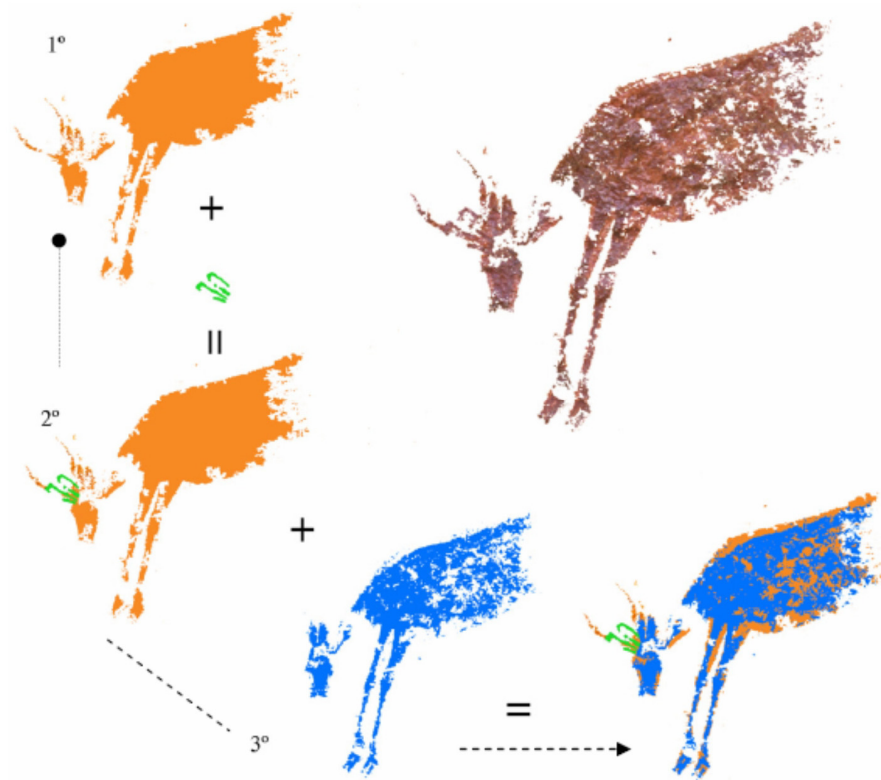


Figura 3.22. Secuencia de correcciones en la Figura 30 de la Cova dels Cavalls. El ciervo acaba convertido en cierva. Fuente: DOMINGO SANZ (2005).

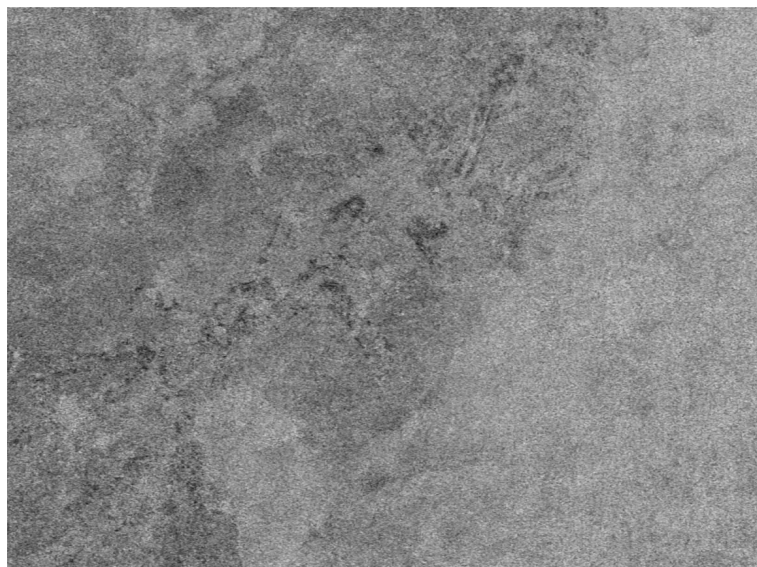
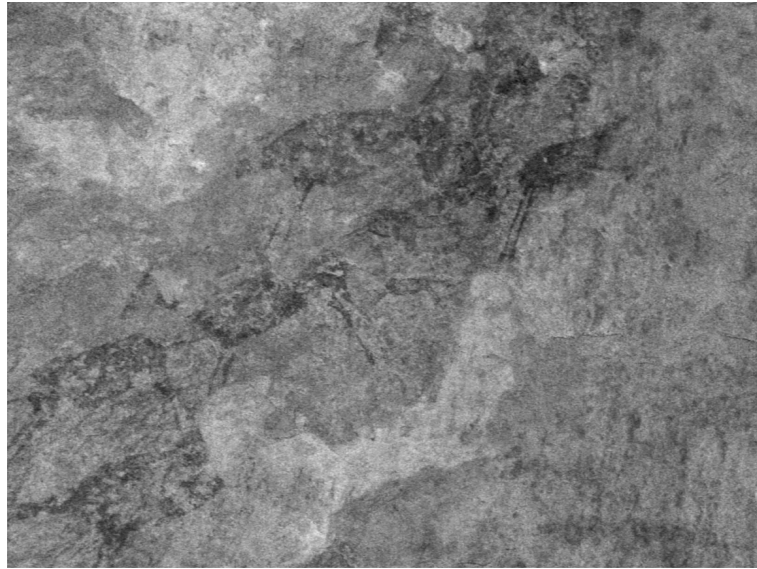


Figura 3.23. Arriba: Banda correspondiente a la segunda CP de una fotografía digital estándar de la escena de caza de cérvidos de la Cova dels Cavalls. Se refleja en ella la mayor parte de la pintura presente en el panel. Abajo: Banda correspondiente a la tercera CP de la misma fotografía. Pueden apreciarse trazos no recogidos en la segunda CP, informándonos de una composición diferente en la receta pictórica. Elaboración propia.

3.2.2.C. DIFERENCIACIÓN DE CUBIERTAS IMPLICADAS EN LA CONSERVACIÓN

En el capítulo primero de este trabajo hemos caracterizado al arte rupestre como uno de los elementos abióticos del sistema natural complejo en el que se encuentra inserto. Esta concepción del arte rupestre resulta especialmente útil para la interpretación de los procesos tafonómicos que han llevado al estado actual de los paneles así como para el establecimiento de estrategias efectivas de conservación. Como también se comentó, los distintos elementos de un sistema natural y sus sinergias generan la existencia de dos tendencias encontradas: una homeostática, o tendencia a la estabilidad y otra entrópica, o tendencia a la degradación, alcanzándose un frágil equilibrio de naturaleza dinámica. En este equilibrio dinámico, las posiciones relativas de los diferentes elementos cobran gran relevancia, ya que la acción de los elementos tiene efecto en función de las mismas (MARGALEF 1982). Puesto que todo sistema ocupa un espacio físico, los diferentes elementos pueden ser representables gráficamente, por lo que la documentación de los paneles rupestres puede asimilarse a un problema de microcartografía, que se resolverá creando mapas temáticos que reflejen todas las cubiertas² relevantes para la comprensión del sistema, facilitándose con ello la evaluación de la incidencia de cada uno de los elementos en la conservación del conjunto. A la hora de construir estas representaciones gráficas, que hemos llamado *calco integral* (ROGERIO-CANDELERA 2008, 2009), el análisis de imagen se erige en una herramienta de gran interés, puesto que facilita en gran medida la discriminación de las distintas cubiertas sin necesidad de utilizar métodos de contacto. Como algunas experiencias de laboratorio han mostrado (ROGERIO-CANDELERA *et alii* 2008, 2010 b), es posible obtener la extensión precisa de los diferentes elementos de un sistema y representarla gráficamente mediante análisis de imagen (Figura 3.24), aplicando para ello técnicas de descorrelación de imágenes y elaborando imágenes en falso color a partir de las bandas obtenidas. Los resultados se asimilan a los que pueden obtenerse mediante clasificación por métodos no supervisados, con la ventaja de que, al

² Entendidas en sentido cartográfico, es decir la representación de la superficie abarcada por cada uno de los elementos que componen el sistema.

no alterarse la significación de los valores de los píxeles, las imágenes obtenidas pueden ser a su vez objeto de clasificación digital.

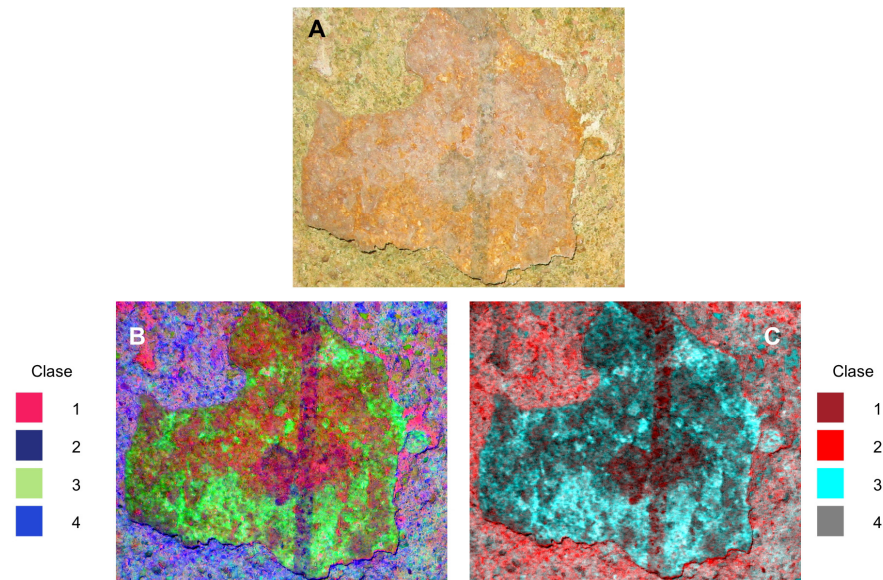


Figura 3.24. Tumba de las Tres Puertas, Necrópolis Romana de Carmona. A. Imagen original. B. Imagen en falso color (CP1, CP2, CP3). Clases: (1) concreciones, (2) pigmento verde, (3) estuco, (4) biofilm fotótrofo. C. Imagen en falso color (CP3, CP2, CP2). Clases: (1) pigmento verde, (2) biofilm fotótrofo, (3) estuco, (4) concreciones. Elaboración propia.

Así, la identificación de la extensión de los diferentes elementos del sistema en el que se encuadra determinado panel permite inferir mediante lógica tafonómica los procesos acaecidos en el sistema a la luz de los resultados finales. En la Figura 3.25 se muestran las diferentes bandas elaboradas a partir de las CP de una imagen de la figura zoomorfa de la Cueva del Encajero, en Quesada, Jaén. Por sí mismas, las CP más relevantes (segunda y tercera) permiten estimar que la figura, definida en la bibliografía como acéfala (SORIA LERMA *et alii* 1987) contó originalmente con cabeza según se infiere de la CP2. Sin embargo, la acción de dos coladas superficiales originó el lavado del pigmento y el desarrollo de biofilms que acabaron ocultando la decoración de esta zona. La figura fue probablemente repintada en

su zona central y posteriormente sufrió pérdidas de la capa pictórica por desplaquetado de la roca soporte.

Como puede comprobarse, además de la localización de algo que se asemeja a la cabeza de una cierva en el lugar donde debería estar la cabeza de la figura, la técnica empleada ha permitido la detección gráfica de otros elementos del sistema, identificados, por otra parte, con técnicas propiamente geológicas (HOYOS *et alii* 1998) como son los efectos de la acción del agua de escorrentía procedente de filtraciones a través de la roca soporte y los fenómenos de *stress* térmico que provocan la fisura y el desprendimiento de materiales.

3.2.2.D. MONITORIZACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO

La componente espacial de los sistemas que incluyen arte rupestre queda suficientemente bien detallada con los procedimientos descritos hasta el momento. Sin embargo, como ya hemos dicho a lo largo de este trabajo, estos sistemas alcanzan un frágil equilibrio de naturaleza dinámica. La dimensión temporal adquiere, así, gran importancia para conocer el comportamiento del sistema. Solo mediante el conocimiento de estas cuatro dimensiones es posible poder elaborar modelos predictivos que ilustren sobre los posibles desequilibrios del sistema y la manera de atajarlos.

Existen dos posibilidades a la hora de monitorizar el comportamiento de determinadas cubiertas de interés para la conservación de las manifestaciones, pero ambas pasan por la construcción de series temporales geométricamente coherentes que permitan la comparación (lo que en buena medida equivale a la superponibilidad). La posibilidad más sencilla es la sustracción de los valores de la imagen más antigua a la imagen más reciente. La imagen resultante señalará las zonas donde se han operado cambios. Comparado con el siguiente proceso que se propone, este procedimiento es menos preciso y deja sin definir áreas que pueden ser de interés para comprender los procesos actuantes (HEREDIA *et alii* 2003). El otro tipo de procedimiento se basa en el análisis de Componentes Principales de cubos sintéticos de dos bandas, en los que la primera banda corresponde al estado inicial y la segunda banda corresponde al estado final (Figura 3.26). La primera CP, al

reflejar la información correlacionada de las dos bandas, será un fiel reflejo del estado inicial. La segunda, al reflejar la información no correlacionada reflejará el estado final. A partir de este tipo de análisis pueden construirse toda una serie de momentos intermedios que pueden luego seleccionarse y cuantificarse.

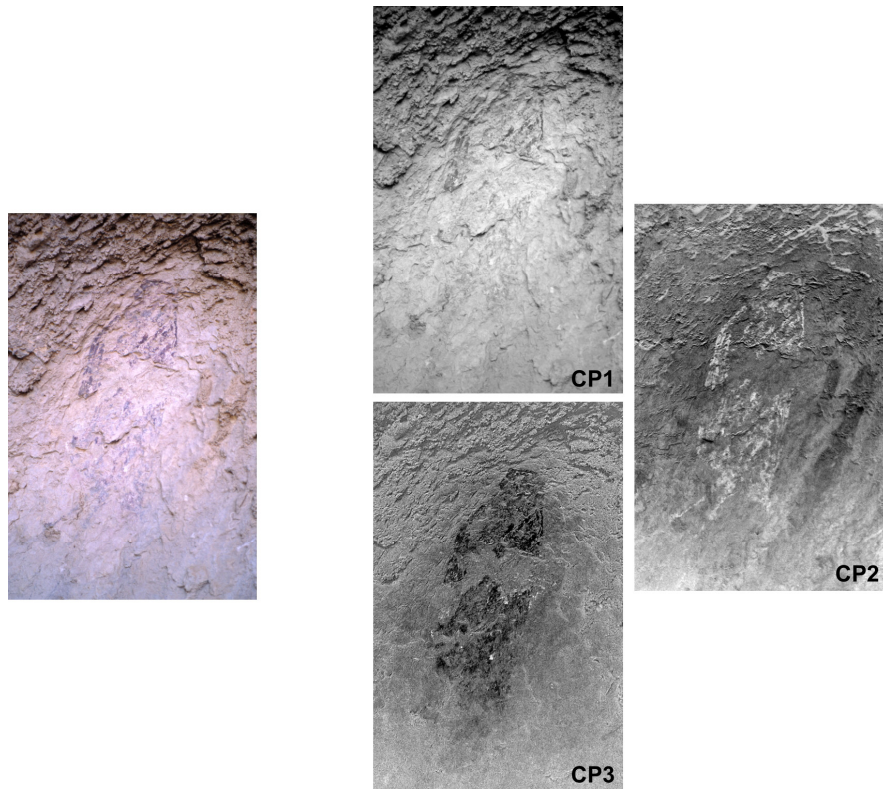


Figura 3.25. Componentes Principales de la figura zoomorfa de la Cueva del Encajero (Quesada, Jaén). La primera CP muestra el equivalente a convertir la imagen original a escala de grises. Las componentes segunda y tercera muestran detalles de la pintura y otros elementos como el desplaqueado de algunas áreas y las zonas de circulación del agua de escorrentía. Elaboración propia.

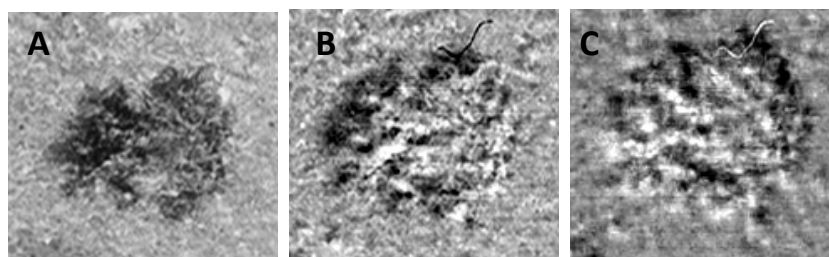


Figura 3.26. Evolución del crecimiento de una de las manchas producidas por una cepa de Streptomyces sp. entre 1997 y 2005 en el interior del Mausoleo Circular de la Necrópolis Romana de Carmona (Sevilla). El área colonizada se representa en negro y las zonas no colonizadas en diferentes niveles de gris. A. Estadio inicial (1997); B. Superficie colonizada entre 1997 y 2002; C. Colonización entre 2002 y 2005. Elaboración propia.

Cuando la superponibilidad de las imágenes no es muy alta, pueden, no obstante elaborarse y cuantificarse series temporales, si bien este procedimiento no será aplicable puesto que se generarían errores que viciarían los datos cuantitativos obtenidos. En estos casos, lo más pertinente es ajustar lo más posible la geometría de unas imágenes con respecto a otras y cuantificar separadamente la cubierta de interés en cada una de las imágenes. Más adelante presentamos detalladamente la aplicación de este enfoque a la monitorización de diversas colonizaciones microbianas en el interior de la cueva de Altamira.

3.2.3. UN PROTOCOLO BÁSICO PARA LA UTILIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE IMAGEN EN TAREAS DE DOCUMENTACIÓN DE ARTE RUPESTRE

Con carácter general, a lo largo de este trabajo se ha seguido el protocolo descrito en la Figura 3.27. En la mayoría de los casos que se expondrán más adelante, la fase de captación de datos se ha llevado a cabo con cámaras fotográficas digitales, de sistema reflex y convencionales, obteniéndose imágenes tribanda en el espacio de color RGB con diferente profundidad de píxeles. La iluminación utilizada ha sido variada, en función de los objetivos de cada caso, variando desde la natural a la ultravioleta ($\lambda=400$ nm). En algunos

casos, se han empleado varios tipos de flash, con una alta intensidad lumínica durante un intervalo muy corto de tiempo, o luces difusas para disminuir las sombras producidas por el relieve (LitePad DL de Rosco Systems). En ningún caso se han empleado lámparas incandescentes o fluorescentes.

Las imágenes obtenidas han servido para construir cubos de imagen, con tantas bandas como se ha considerado necesario según los objetivos. Las bandas obtenidas mediante descorrelación por análisis de Componentes Principales han servido también para componer cubos de imagen, ellas solas o integradas con bandas de visible obtenidas con diferentes tipos de iluminación.

En algunos casos, estos cubos de imagen han sido objeto de clasificación y posteriormente se han efectuado las correcciones geométricas necesarias. En otros casos, sobre todo cuando se trata de elaborar series temporales, se han llevado a cabo estas correcciones directamente sobre las imágenes en bruto para, con posterioridad, llevar a cabo las subsiguientes operaciones de análisis digital de imagen.

Las diferentes clases incluidas en las imágenes clasificadas han sido objeto de interpretación y, posteriormente, se han vectorizado automáticamente para elaborar los resultados finales. La vectorización facilita la gestión de los resultados utilizando sistemas de información geográfica. Nuestros trabajos han concluido aquí, aunque en uno de los casos que se describirán a continuación, los calcos obtenidos se han podido superponer a un modelo digital de elevaciones (MDE) para proceder, en futuros trabajos, al estudio de los diversos factores de deterioro que lo afectan.

Como se ha dicho en alguna ocasión a lo largo de este trabajo, el protocolo es flexible, toda vez que las realidades que componen el arte rupestre son muy diversas. En todo caso, las fases ineludibles del trabajo incluyen, desde nuestro punto de vista, la captación, descorrelación, integración, clasificación y vectorización y necesitan de la fotorrestitución para asegurar la coherencia geométrica de las distintas imágenes entre sí, sobre todo cuando se persigue la

perfecta superponibilidad o se hace necesaria la elaboración de mosaicos.

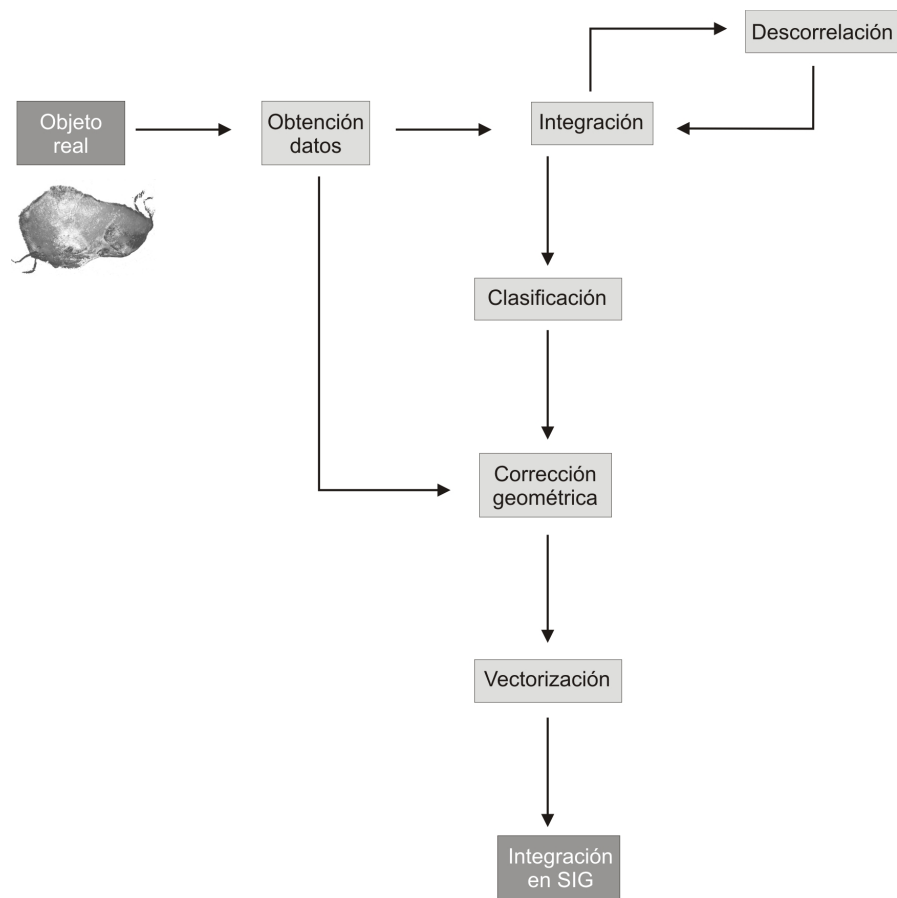


Figura 3.27. Protocolo general para el trabajo con imágenes de arte rupestre basado en análisis de imagen.

4

Casos de estudio

En los apartados que siguen desarrollaremos la aplicación de estas metodologías de análisis de imagen a una serie de casos concretos, con diferentes objetivos específicos, escogidos con la intención de abarcar gran parte de las posibilidades descritas en el capítulo anterior. La estructura del capítulo se articula en torno a cinco casos localizados en ambientes distintos, para dar cuenta de la variabilidad en la problemática asociada a la conservación del arte rupestre en medios con distinta tasa de intercambio de materia y energía. Así, los dos primeros se refieren a sistemas naturales con arte rupestre localizado en ambientes subterráneos, con mucho los sistemas más frágiles debido a su equilibrio basado en bajas tasas de intercambio de materia y energía con el ambiente exterior circundante; a estos casos escogidos, en realidad desarrollados en una sola cueva

(Altamira), le siguen dos más, localizados en abrigos más o menos someros: el abrigo con decoración levantina de Muriecho (o Muriecho L), situado en plena Sierra Guara, en el prepirineo oscense, dentro del término municipal de Colungo, y el abrigo de La Coquinera II, situado en el término municipal de Obón, al sur de Teruel, en los cañones del Parque Cultural del Río Martín. A estos dos casos, con manifestaciones rupestres expuestas parcialmente a las variaciones de la climatología, le sigue, para concluir, un yacimiento rupestre al aire libre. En este caso se trata del núcleo de arte rupestre de Faia, en la *Freguesía* de Cidadelhe, Portugal, incluido en el conjunto de las manifestaciones parietales del Valle del Côa.

Todas las localizaciones que se incluyen en estos estudios particulares están declaradas por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad, bien a título individual, como es el caso de Altamira, bien a título colectivo, en los casos de los abrigos aragoneses (Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica) y el yacimiento portugués (Arte Rupestre del Valle del Côa). Cronológica y tipológicamente, abarcan también gran parte del objeto de estudio que nos habíamos propuesto en el capítulo inicial, ya que se incluyen motivos de arte rupestre Pleistoceno junto a otros datables en el Holoceno, incluidos en los marcos tipológicos del Arte Levantino y Esquemático, así como manifestaciones “fuera de tipología” como son las pinturas portuguesas postpaleolíticas, que se han relacionado con ambos horizontes artísticos.

Con respecto a los trabajos realizados en Altamira, se ha utilizado este conjunto de métodos para la documentación de elementos culturales y naturales. En el primer caso, se ha realizado un nuevo calco de un panel conocido de antiguo, pero que presentaba, por una parte, problemas de visibilidad derivados del desarrollo de espeleotemas sobre la pintura y, por otra, importantes distorsiones geométricas entre el calco publicado y el panel real. En el segundo caso se ha monitorizado la evolución de diferentes colonizaciones microbianas, que se desarrollan como manchas blancas, grises y amarillas, en distintos puntos de la cueva entre los años 2007 y 2009, como contribución a los estudios sobre la conservación de la cueva y sus manifestaciones rupestres que se han llevado a cabo por el

Consejo Superior de Investigaciones Científicas a raíz de un convenio con el Ministerio de Cultura.

Los trabajos realizados en abrigos aragoneses, por su parte, se han dedicado, por un lado, a la mejora en la visualización de los motivos y la subsecuente evaluación de los calcos publicados (en el caso de Muriecho L) y, por otro, a la distinción de diferentes momentos en la elaboración de los paneles (caso de La Coquinera II). Estos estudios se incluyen en el proyecto “Estudio integrado de los factores de deterioro de los sustratos rocosos del arte rupestre en Aragón: parámetros ambientales, geológicos y biológicos”, financiado por el gobierno autónomo de Aragón.

El último caso de estudio, llevado a cabo sobre dos paneles rupestres localizados al aire libre, tiene como objetivos explorar la pintura existente en las rocas en las que se emplaza, evaluar la fidelidad de los calcos realizados siguiendo procedimientos convencionales y realizar un mapeo de la extensión de la colonización líquénica en estas mismas rocas. Este trabajo es producto de una colaboración puntual con miembros de la Universidade do Minho y del Parque Arqueológico del Valle del Côa.

4.1

Análisis de imagen del panel de la Sala de La Hoya, Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria)

4.1.1. INTRODUCCIÓN

Como vimos en el primer capítulo de esta tesis doctoral, las técnicas tradicionales para la elaboración de calcos de motivos rupestres presentan una serie de limitaciones, tanto desde el punto de vista de la reproducción de los motivos como para la propia conservación de los mismos. Estas últimas vienen dadas por su carácter invasivo

(ROGERIO-CANDELERIA 2009 b). Entre las limitaciones de estas técnicas para la reproducción de motivos está la falta de consistencia geométrica de los resultados (si se trata de calcos directos sobre superficie transparente, puesto que se despliega sobre una superficie plana lo que en origen estaba sobre una superficie irregular), o la posible subjetividad en la representación del motivo rupestre cuando se trata de un dibujo a mano alzada, sobre todo si el investigador encara la documentación de motivos difícilmente visibles (ROGERIO-CANDELERIA 2009 b, 2010 b).

La dinámica interna del sistema natural en el que se encuadran, la desestabilización del mismo, o las acciones antropogénicas de todo tipo, entre las que pueden contarse las posibles erosiones o agresiones sufridas por los motivos rupestres en el acto de su documentación por métodos directos, hacen que, demasiado a menudo, los motivos rupestres originales hayan desaparecido o estén prácticamente ocultos bajo capas de suciedad, biopelículas o espeleotemas de nueva formación. En estos casos, los calcos elaborados siguiendo los métodos tradicionales pueden llegar a ser el único registro conservado de los motivos parietales. Si una buena documentación de los motivos rupestres recién descubiertos es esencial, para los motivos ya registrados con métodos tradicionales la revisión de sus calcos con técnicas que permitan respetar la forma y las relaciones geométricas de los motivos sin incidir negativamente en su conservación se convierte en una tarea crítica, sobre todo en las localizaciones con arte rupestre especialmente sensibles a la degradación. Entre estas, como hemos visto, deben incluirse las que se sitúan en cuevas, sistemas de moderada a baja energía que se caracterizan por una baja oscilación termo-higrométrica, una mínima exposición a la intemperie y ser medios oligotróficos sin luz, lo que las convierte en ambientes extremadamente frágiles (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2008).

En este trabajo se ha acometido la revisión de un calco publicado en las primeras etapas de la investigación arqueológica sobre el arte rupestre de la cueva de Altamira (BREUIL y OBERMAIER 1935), utilizando una metodología de trabajo basada en el análisis de imagen desde un enfoque que hemos denominado en otros lugares *analítico* por

contraposición a las técnicas de retoque fotográfico que habitualmente se vienen utilizando para estos fines (ROGERIO-CANDELERIA 2009 b, 2010 b).

4.1.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.2.A. OBJETO DE ESTUDIO

En este trabajo se revisa el calco publicado en los años treinta del siglo XX de un panel pictórico situado en la sala de La Hoya, en la Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), con especial referencia a una figura caprina de difícil observación hoy día por hallarse semioculta por el desarrollo de formaciones salinas. La Cueva de Altamira, declarada por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad en 1985, se encuentra en la zona superior de un pequeño cerro calcáreo a 158,5 metros s.n.m.a. en el seno de una unidad litoestratigráfica carbonatada de unos 45 m de espesor conocida como “Formación Altamira”, constituida por ocho unidades diferenciadas y datada en el Cenomanense Medio-Superior (Era Secundaria). La cueva se desarrolla en las unidades superiores de esta formación, en concreto entre los paquetes intermedios de calizas y calcarenitas de la Unidad 4 hasta el techo estratigráfico de la Unidad 8 (Foyo *et alii* 2002). La sala que nos ocupa, la situada a una cota topográfica más baja de toda la cueva, presenta su decoración pictórica en un estrato compuesto fundamentalmente por calizas, delimitado por arriba y por abajo por paquetes estratigráficos compuestos por bandas de calizas y calcarenitas (Figura 4.1.1).

La Sala de la Hoya es una cavidad rehundida y que viene a coincidir con la presencia en superficie de una gran dolina llamada asimismo La Hoya, posible fuente para la infiltración de agua que dio origen a una gran colada que ocupa la zona del fono de la cavidad. Se sitúa junto a la Gran Sala, y su acceso se verifica mediante el descenso de una ligera pendiente desde la misma (Figura 4.1.2). El panel se sitúa en el muro de la izquierda y comprende la representación de tres íbices pintados en negro separados por la cabeza de una cierva, que se atribuyen al Magdaleniense Inferior. Se cuenta con una fecha radiocarbónica para la cabeza de la cierva: 15.050 ± 180 BP (Gif-A

96062), que abona esta cronología (MOURE *et alii* 1996). La asociación de cabras y ciervos en diferentes paneles del Magdalenense Inferior y Medio es relativamente frecuente en la cornisa cantábrica, especialmente en su zona central, como ha sido puesto de manifiesto por MONTES *et alii* (2004) que, además del panel que es objeto de este caso de estudio, mencionan los de Cualventi, El Juyo, Cobrante, Cueva Grande de Otañes, y de manera más insegura las cuevas no suficientemente conocidas aún de Sotarraña o El Patatal y El Rincón. La figura sobre la que este trabajo incide especialmente por la dificultad de su calco, es la situada más hacia la izquierda en el panel. Esta figura caprina se separa de las otras dos por la cabeza incompleta de una cierva, para cuya finalización se aprovechó la topografía natural de la roca soporte. La cabra mira hacia la izquierda, mientras el resto de las figuras del panel lo hace a la derecha (Figura 4.1.3). Esta figura experimenta en la actualidad un ocultamiento parcial debido a la formación de una capa de aragonito que se desarrolla a favor de los trazos. Esta disposición del mineral neoformado sobre los trazos negros es un argumento a favor de su origen biogénico (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2002 b). Así, el carbono orgánico de los trazos sería utilizado por los microorganismos por su elevada superficie específica, que facilita su adhesión, para desarrollar su ciclo vital. Estos microorganismos inducirían o facilitarían la precipitación del carbonato cálcico mediante un proceso o conjunto de procesos que no son extraños en ambientes subterráneos (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2003) ni tampoco en superficie (FORTIN *et alii* 1997).

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERAL DEL INTERIOR DE LA CUEVA DE ALTAMIRA		
Columna estratigráfica (m)	Litología	Características
13 	Calizas y calcarenitas	UNIDAD 8
	Margas	CAPA SUPERIOR
	Calizas y calcarenitas	Calizas de aspecto tableado. Color gris en superficie
11 10	Calizas, calcarenitas y margas	UNIDAD 7
	Caliza	CAPA NARANJA Color anaranjado en superficie. Sin cuñas. Techo ondulado con un nivel margoso final CAPA DE LAS CUÑAS Color blanco en superficie. Nivel con cuñas y entrantes formados por disolución
9 	Dolomía	UNIDAD 6
	Caliza	CAPA MARRÓN CAPA DE POLICROMOS
8 7	Calizas, calcarenitas y margas a techo	UNIDAD 5
	Margas	Estratos tableados con niveles arcillosos centimétricos CAPA TABLEADA
6 5 4 3 2 1	Calizas y calcarenitas	UNIDAD 4
	Calizas y calcarenitas	Se pueden distinguir cuatro subniveles, marcados por planos de estratificación
	Calizas y calcarenitas	Color marrón en superficie, con arcillas de descalcificación; techo de la Hoya
	Calizas y calcarenitas	Color marrón en superficie, aspecto masivo
	Caliza	Color marrón en superficie, aspecto masivo. Bisonte de la Hoya
	Calizas y calcarenitas	Nivel tableado de color gris en superficie
	Calizas	Color marrón en superficie, aspecto masivo
	Calizas	Nivel tableado de color gris en superficie

Figura 4.1.1. Columna estratigráfica general del interior de la cueva de Altamira. Fuente: Foyo et alii (2002).

Las pinturas de la sala de La Hoya se cuentan entre los más antiguos testimonios Magdalenienses de la cueva, anteriores al conjunto de la sala de Polícromos. El último calco conocido de las figuras del panel que nos ocupa (y en realidad el único) corresponde al publicado por H. Breuil y H. Obermaier en su libro de 1935. En él se sitúan, con una disposición marcadamente horizontal, los calcos de las cuatro figuras que lo componen (Figura 4.1.4), disposición que, curiosamente, convierte en vertical GARCÍA GUINEA (2004: 84). A pesar de haber sido documentadas fotográficamente en varias ocasiones, no se había realizado hasta la fecha un nuevo calco que corrigiera y/o completara la visión que se tiene de estas figuras. En buena medida, la inexistencia de un calco fiable de la figura de la izquierda puede deberse a las dificultades para la completa definición de sus trazos provocada por la proliferación de concreciones que hemos comentado más arriba. Las otras figuras, más fáciles de apreciar, tampoco han sido documentadas de nuevo a pesar de que no es difícil comprobar que, en lo que toca a la cierva, la geometría está distorsionada en el calco. Quizás, por otra parte, la espectacularidad de otras manifestaciones parietales de esta misma cueva ha podido acaparar el grueso de los esfuerzos de investigación, recibiendo otras salas un interés en cierto modo marginal por parte de los investigadores que la han tomado como objeto de estudio. En todo caso, se trata de un panel documentado a principios del siglo XX cuya documentación no ha sido revisada hasta el momento actual. Cabe señalar que la completa visión de todos los elementos del panel no es físicamente posible desde el interior de la sala de La Hoya (o “Galería VI”, como también se conoce esta sala atendiendo a la distribución de las representaciones parietales de la cueva) por las reducidas dimensiones del espacio en esta zona. Este hecho influyó la manera de documentar fotográficamente el panel, que necesariamente tuvo que hacerse mediante varias fotografías tomadas desde ubicaciones diferentes.

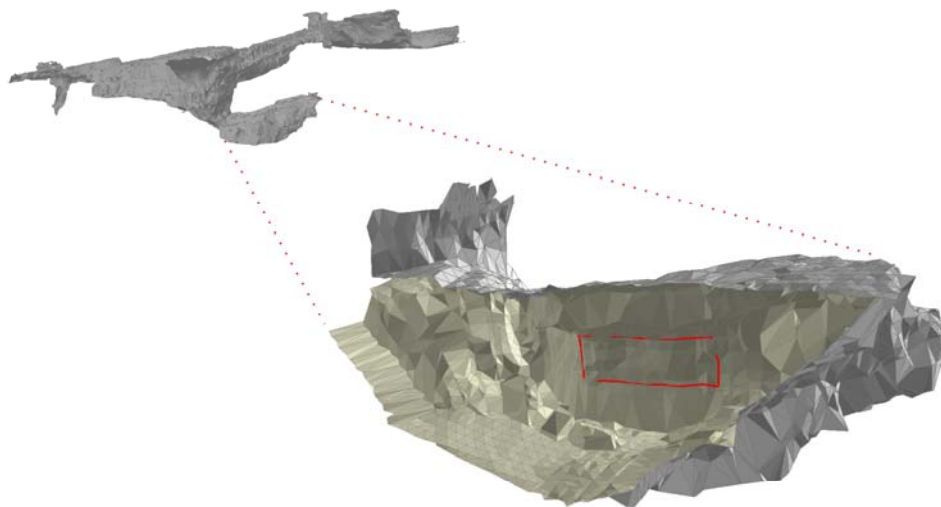


Figura 4.1.2. Modelo 3D de la cueva de Altamira, y detalle de la sala de La Hoya, con la localización de las pinturas.



Figura 4.1.3. Serie de fotografías que abarca los diferentes elementos del panel objeto de estudio. Diferente escala.



Figura 4.1.4. Calco del panel de la Sala de La Hoya según BREUIL y OBERMAIER (1935)

4.1.2.B. ANÁLISIS DE IMAGEN

La documentación del panel de la Sala de la Hoya se llevó a cabo mediante fotografías digitales estándares de los motivos rupestres (Figura 4.1.5), y fotografía digital con iluminación ultravioleta (400 nm) que permite registrar en la región visible del espectro la fluorescencia inducida en los materiales por la excitación con esta longitud de onda. En todos los casos, las imágenes fotográficas se captaron emplazando la cámara en una posición normal a la superficie a registrar. A estas tomas se les aplicó análisis de imagen siguiendo una estrategia basada en la descorrelación de los valores de los niveles digitales de los píxeles de las diferentes bandas obtenidas, utilizando para ello Análisis de Componentes Principales. Para esta tarea se empleó el software *HyperCube* v. 8.5.1 (*Army Geospatial Centre*, Estados Unidos). Con este tratamiento se ha perseguido destacar los elementos minoritarios en la imagen, en particular los trazos prácticamente ocultos de la pintura rupestre, de cara a mejorar su visualización. Este enfoque ha sido aplicado con éxito por nosotros a diversas manifestaciones parietales con anterioridad (PORTILLO *et alii* 2008 a, ROGERIO-CANDELERÁ 2008, ROGERIO-CANDELERÁ *et alii* 2008, 2009 b, 2010 b) y, como se explicó más detalladamente en el capítulo dedicado a la metodología, consiste en esencia en la obtención de combinaciones lineales de las distintas bandas de manera que se representan sobre un nuevo sistema de referencia de ejes perpendiculares entre sí, o, en otras palabras, totalmente descorrelacionados. Así, las bandas obtenidas mediante la representación en este nuevo sistema de referencia explican cantidades cada vez menores de la covariación entre los valores. El porcentaje de varianza explicada por cada nueva banda viene dado por su autovalor, que es el módulo del autovector que, a su vez, define cada una de las componentes. En imágenes con un alto grado de correlación visual, la mayor parte de la información recogida en la misma aparecerá en la banda correspondiente a la primera Componente Principal. Las siguientes bandas, que corresponden a las siguientes Componentes Principales, reflejarán un porcentaje de información mucho menor, decreciendo en cada una de ellas. El número máximo de Componentes Principales a obtener coincidirá siempre con el número de bandas con que contemos en la imagen original. En el caso de las imágenes fotográficas estándares

(espacio de color RGB), contaremos con tres bandas, que corresponden cada una a la reflectividad de los materiales en los intervalos de longitud de onda (λ) comprendidos aproximadamente entre los 400-500, 500-600 y 600-700 nm, por lo tanto tendremos tres Componentes Principales para cada imagen. Sin embargo, la utilización de una fuente de iluminación distinta, como es la ultravioleta (en este caso, de $\lambda=400$ nm), permite inducir fluorescencia en determinados materiales. Así, el aragonito que cubre algunos trazos de la cabra de la izquierda, presenta un comportamiento diferencial con respecto a la roca soporte, dando tonos de color crema (Figura 4.1.6). Este comportamiento diferencial, reflejado en imágenes de tres bandas de visible, puede combinarse con las imágenes de visible con iluminación blanca para constituir cubos de varias bandas, que pueden ser luego tratadas mediante Análisis de Componentes Principales.

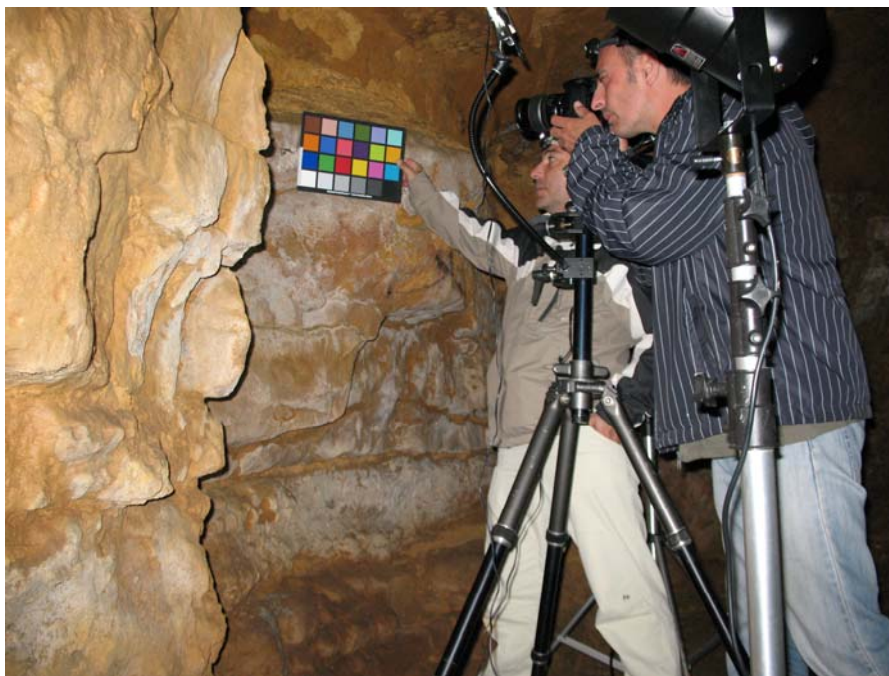


Figura 4.1.5. Proceso de documentación mediante fotografía digital en el dominio del visible de parte del panel de la Sala de La Hoya. Fotografía de Sergio Sánchez Moral.

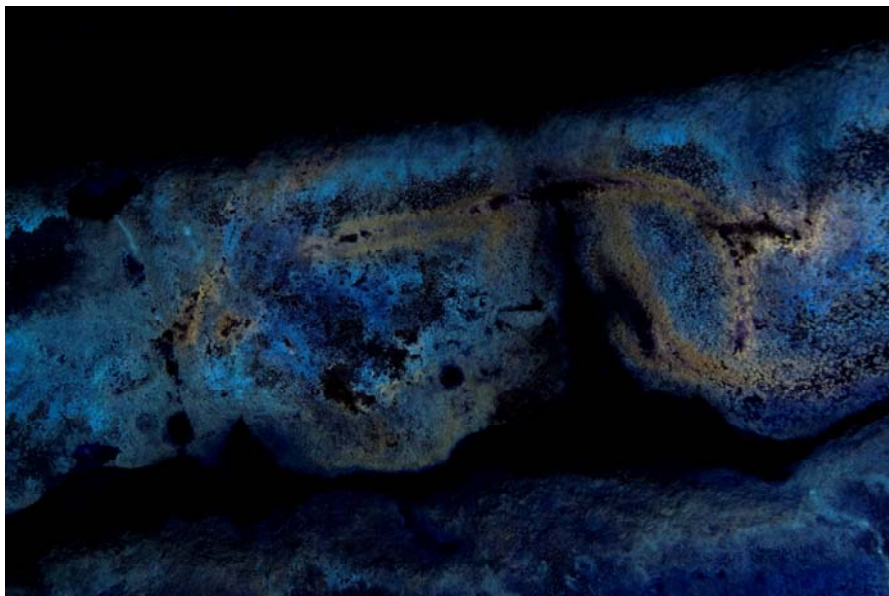


Figura 4.1.6. Imagen de fluorescencia inducida por ultravioleta que destaca las concreciones que cubren la figura de la cabra. Fotografía de Pedro López Cañas.

Además de esta estrategia de descorrelación se ha utilizado puntualmente el álgebra de imágenes, y se han elaborado imágenes en falso color como ayuda para la visualización de algunos elementos muy enmascarados. Estas operaciones se han realizado utilizando el mismo paquete de software citado más arriba.

Las imágenes resultantes han sido, además, clasificadas, para poder seleccionar la clase más relevante en función de los objetivos del trabajo. La aproximación utilizada para la clasificación ha sido de naturaleza fotointerpretativa, es decir, se ha efectuado una clasificación supervisada en función del reconocimiento previo de trazos pictóricos. La clasificación efectuada ha sido de un tipo sencillo, binarizando la imagen a partir de unos intervalos de niveles de gris seleccionados mediante la observación de transectos de la imagen que contenían la cubierta de interés. Para estas operaciones se ha utilizado el paquete de software *ImageJ* v. 1.41o (*National Institutes of Health*, Estados Unidos).

Las imágenes binarias obtenidas mediante la utilización de estas técnicas de análisis de imagen, de naturaleza matricial, se transformaron a imágenes de tipo vectorial con ayuda de la utilidad *PowerTRACE*, inserta en el paquete de software *CorelDRAW Graphic Suite X3* (Corel Corporation, Canadá). Con ello se pretende facilitar la implementación de sistemas de gestión de datos con componente espacial para la elaboración de estrategias efectivas de conservación de las pinturas. El panel, así, figura a figura, o como conjunto, puede formar parte de cubiertas vectoriales (*coverages*) fácilmente integrables y que no descontextualizan el calco de su entorno físico.

Las imágenes vectoriales se han integrado en el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la cueva, realizado a partir de la topografía de alta resolución realizada por el Instituto Geográfico Nacional. La geometría de la cueva, elaborada con vistas a la réplica de algunas de las zonas de la misma, se definió mediante técnicas topográficas en buena parte automatizadas, a excepción del techo de la sala de Polícromos, para el que se aplicaron métodos fotogramétricos. Excepto Polícromos, que tiene una resolución apreciablemente mayor, la nube de puntos se realizó con una equidistancia aproximada de veinticinco centímetros (PASCUAL SANZ *et alii* 2002). Por nuestra parte, la implementación del MDE se llevó a cabo mediante la creación de mallas de triángulos tipo TIN (*Triangulated Irregular Networks*) calculadas a partir del algoritmo de Delaunay. Una de las propiedades interesantes de la triangulación de Delauney es la conocida como propiedad del círculo vacío (MELLADO *et alii* 2008), que consiste en que ningún punto está contenido en la circunferencia circunscrita sobre cualquier triángulo. Para ello se empleó el software *ArcGis* versión 9.2.

Para la construcción del modelo visual final, primero se extrajo el sector de topografía necesario que representa la pared en la que se encuentran las figuras a estudio, con lo que se elimina gran parte de la carga informática de datos y el archivo se aligera facilitando su gestión. Como segundo paso, el fragmento de la topografía se rotó en el espacio para situar el conjunto lo mas paralelo posible al eje XY. Con esta acción conseguimos simplificar el proceso de integración de

las imágenes vectoriales en el MDE. Sobre este fragmento ya editado georreferenciamos en planta las imágenes vectoriales y por último tapizamos (*drape*) el TIN con estas imágenes. Mediante prueba y error se eligieron los parámetros de renderizado que mejor se adaptan a este caso para obtener una buena visualización 3D final.

4.1.3. RESULTADOS

4.1.3.A. EL CÁPRIDO DE LA IZQUIERDA DEL PANEL

Como se ha comentado más arriba, se trata de la figura más difícil de percibir en el panel. Los trazos, pintados en negro, más que verse se intuyen bajo una capa de aragonito que los cubre (Figura 4.1.3.A). El resultado de la descorrelación de las imágenes mostraba que la segunda Componente Principal era la que mejor revelaba la capa pictórica, tanto si el análisis se realizaba por el método de la matriz de covarianzas como por el método de la matriz de correlación, aunque presentando pequeñas diferencias en la visualización de los datos, que deben explicarse por las distintas características de estas matrices de datos. En efecto, la matriz de covarianzas, obtenida por la multiplicación de la matriz de datos por su traspuesta, es una matriz cuadrada y por tanto, el análisis factorial producirá los mismos autovalores y autovectores se utilice la matriz de datos o la matriz traspuesta. Esto no es cierto si se utiliza la matriz de correlación para el cálculo (MALINOWSKI y HOWERY 1980: 30-31).

Así, una primera aproximación consistió en la elaboración de una imagen en falso color utilizando las segundas componentes principales (Figura 4.1.7), con lo que conseguíamos acercarnos al objetivo de destacar la pintura con respecto al ruido introducido por las concreciones, mejorando con ello la visualización, si bien la cantidad de píxeles “de borde”, es decir, píxeles que podían pertenecer a más de una clase (MONTERO RUIZ *et al.*, 1998: 166) era excesiva para poder clasificar la imagen con garantías de éxito. Para ampliar la resolución espectral de las imágenes de síntesis que se manejaban, pareció aconsejable contar con la información adicional que podía aportar la iluminación con longitudes de onda determinadas. De este modo, como ya se comentó en el apartado

anterior, se iluminó el panel con ultravioleta y se captó una imagen de fluorescencia inducida (Figura 4.1.6). Esta imagen registra la emisión en el intervalo de longitudes de onda del visible en modo RGB, por lo que contábamos con otras tres bandas con las que trabajar. Al someter a esta nueva imagen a análisis de Componentes Principales, encontramos que, de nuevo, las bandas correspondientes a la segunda y tercera CPs eran las más pertinentes para obtener información referida a la capa pictórica. Por esta razón, se utilizaron, combinadas con una banda obtenida por PCA de imágenes de visible, para elaborar una imagen en falso color que permitió la vectorización de la capa pictórica (Figura 4.1.8). Esta imagen, además de destacar claramente la pintura y hacer posible la clasificación, sirvió para advertir que las concreciones que cubren la figura presentan comportamientos ópticos diferenciados cuyo significado podrá clarificarse mediante toma de muestras de estas concreciones para su caracterización.

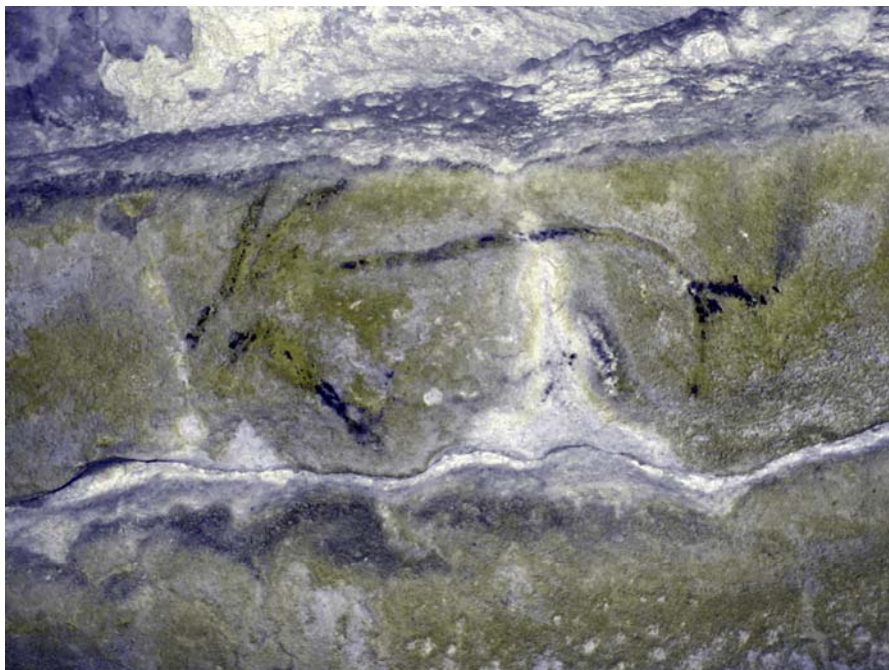


Figura 4.1.7. Imagen en falso color elaborada a partir de las segundas Componentes Principales

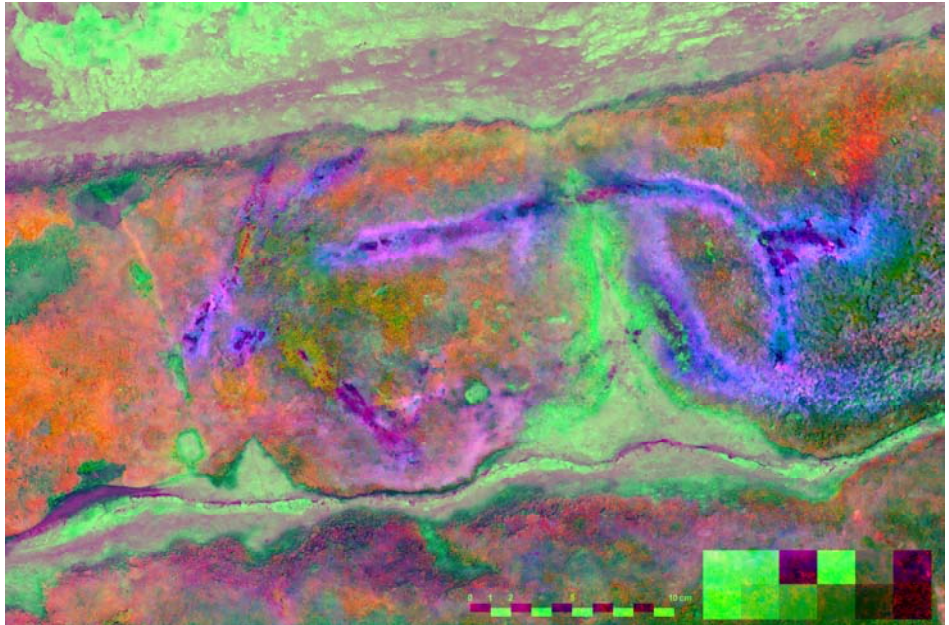


Figura 4.1.8. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP minoritarias de visible y fluorescencia inducida por UV.

A partir de la imagen que muestra la Figura 4.1.8, se realizó una clasificación supervisada sencilla, seleccionando los intervalos de píxeles pertinentes para elaborar una imagen binaria en la que se representaba en negro la clase pintura y en blanco todo lo demás. Esta cubierta se vectorizó automáticamente (Figura 4.1.9) para poder tratarla, en estudios posteriores, como una cubierta vectorial (*coverage*) fácilmente gestionable mediante Sistemas de Información Geográfica.



Figura 4.1.9. Calco vectorial de la cabra de la zona izquierda del panel de la sala de La Hoya.

4.1.3.B. LA CIERVA CENTRAL

La problemática en torno a la documentación de la figura de la cierva era muy diferente de la que hemos vislumbrado para la cabra de la zona izquierda del panel. En principio, la figura aparecía bien contrastada con respecto a la roca soporte, por lo que la documentación de los trazos no debía representar un problema complicado a priori. Por ello, se decidió aplicar diferentes opciones para documentar esta representación, persiguiendo con ello la contrastación de resultados obtenidos aplicando técnicas diferentes. Así, el tratamiento dado a la cierva desde el punto de vista del análisis de imagen tuvo dos vertientes diferenciadas. Por una parte, se probaron varias posibilidades para la clasificación de la imagen siguiendo métodos no supervisados. El algoritmo empleado fue del tipo *K-means*, ya comentado en el Capítulo 3, empleando para ello varios métodos arbitrarios de agrupación de los valores de los píxeles en las distintas bandas. Las clasificaciones se llevaron a cabo en todos los casos mediante veinte iteraciones y definiendo seis, ocho y diez clases arbitrarias. El resultado, como puede apreciarse en la Figura 4.1.10, no alcanzó los resultados deseados. Esta Figura muestra la mejor aproximación a la definición de la clase pintura alcanzada mediante la aplicación de este algoritmo de clasificación digital. No obstante, como puede comprobarse, la escasa resolución

radiométrica de la imagen (sólo tres bandas, en el espacio de color RGB) facilita la confusión entre áreas sombreadas y pigmento negro, por lo que algunos de los detalles de este se pierden y, por otra parte, aparecen algunas líneas que no existen en la realidad. Por ello, se decidió adoptar una estrategia basada en la descorrelación de los niveles digitales incluidos en las bandas de la imagen mediante análisis de Componentes Principales. Descorrelacionadas estas bandas por el método de la matriz de covarianzas, pudimos comprobar que la figura aparecía bien destacada en la banda correspondiente a la primera Componente Principal que, no obstante, reflejaba un porcentaje de la varianza bastante bajo, en torno al 83% de la varianza total (Tabla 4.1.1), con respecto a los resultados obtenidos en imágenes altamente correlacionadas. La información aportada por las otras dos bandas resultaba así, poco relevante para la definición del motivo rupestre, como puede apreciarse en las Figuras 4.1.11 y 4.1.12. Esta última muestra una composición en falso color elaborada a partir de las tres bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales que, como puede fácilmente comprobarse, no añade gran cosa a los resultados obtenidos sólo con la banda correspondiente a la primera Componente Principal (Figura 4.1.11A). Por ello, se decidió elaborar el calco de la cierva mediante clasificación supervisada a partir de los niveles de gris de la banda correspondiente a esta Componente Principal.

Tabla 4.1.1. Varianza explicada por los autovalores correspondientes a las Componentes Principales para el motivo de la cierva de la Sala de La Hoya.

Componente Principal	Autovalor	Varianza explicada (%)
1	3700,958	82,7832024
2	739,964	16,55154951
3	29,741	0,665248085

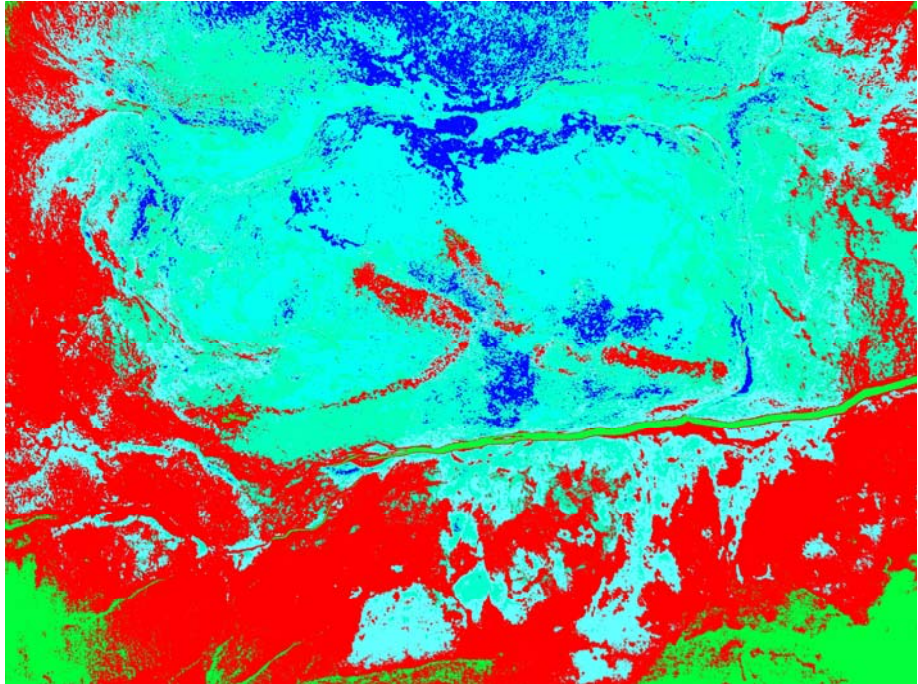


Figura 4.1.10. Imagen clasificada mediante algoritmo K-means, con ocho clases predefinidas y veinte iteraciones. Dos de las clases correspondientes a pigmento se han homogeneizado a rojo para abarcar el máximo de la variabilidad de la clase pigmento, sin embargo gran cantidad de píxeles mal clasificados entran en esta categoría.

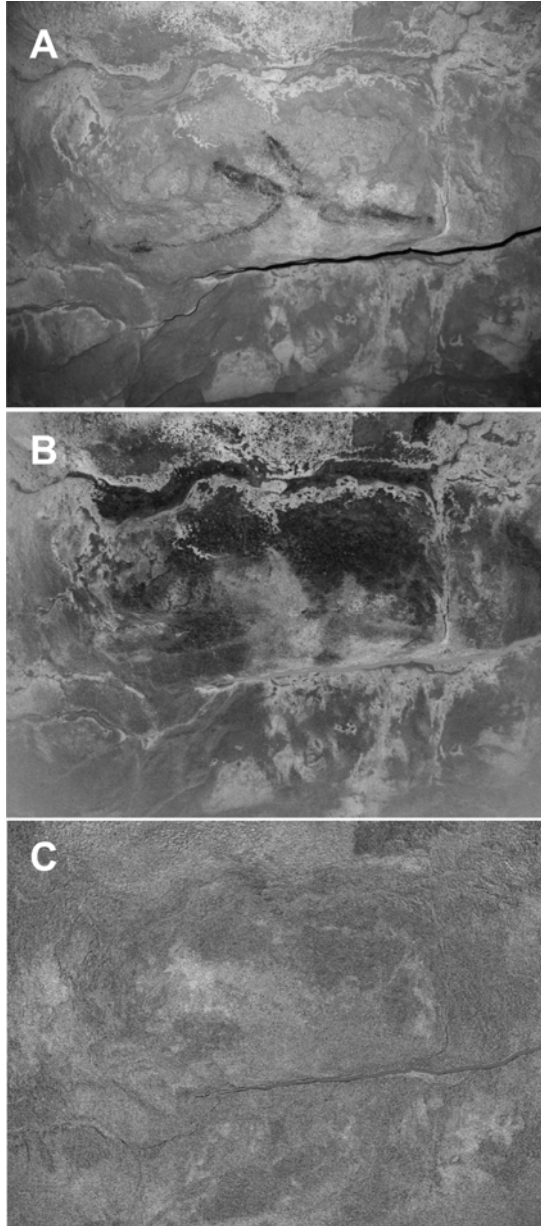


Figura 4.1.11. Bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales del motivo de la cierva. A. Primera CP. B. Segunda CP. C. Tercera CP.

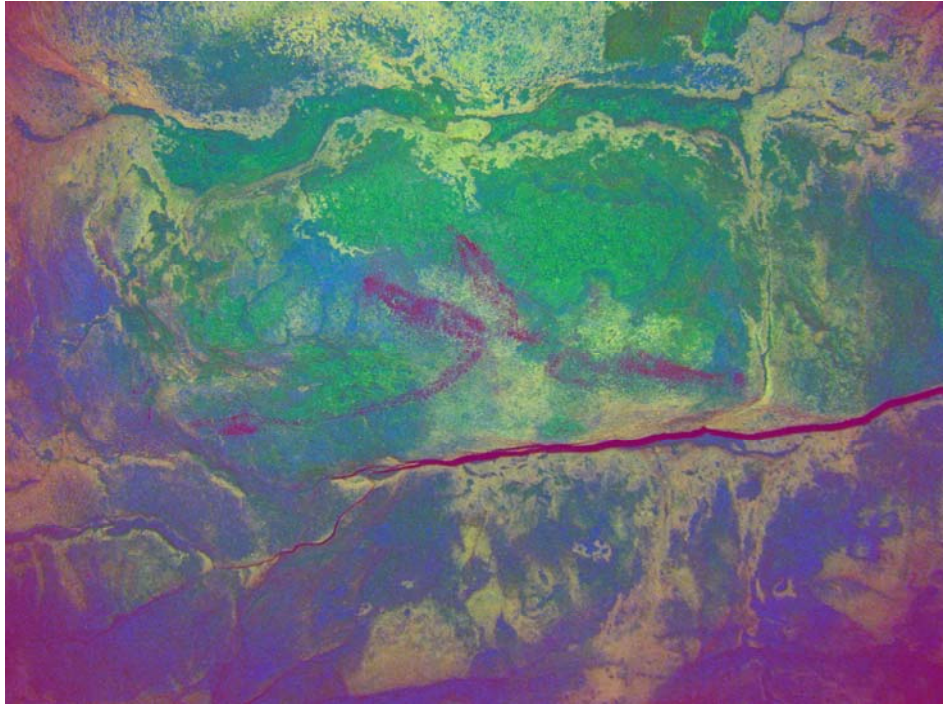


Figura 4.1.12. Imagen en falso color elaborada a partir de las tres bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales.

Así pues, la opción tomada fue, en esencia, la misma que la efectuada en los pasos finales del calco de la cabra. A partir de la estimación de la variabilidad de los niveles de gris de la clase pintura mediante la representación gráfica de los valores del píxel de diferentes transectos que incluían tanto pintura como soporte (Figura 4.1.13), se definieron los umbrales pertinentes para binarizar la imagen, obteniendo una nueva imagen en la que tan sólo se contemplan la clase “pintura” (en negro) y la “no pintura” (en blanco). A partir de esta imagen binaria, la vectorización automática mediante la utilidad *PowerTRACE* de CorelDRAW Graphic Suite X3 permitió contar con un calco vectorial de este motivo y, como tal, ser gestionado eficientemente, de manera separada o conjunta, mediante sistemas de información alfanumérica con componente espacial asociada. El resultado de la vectorización se muestra en la Figura 4.1.14.

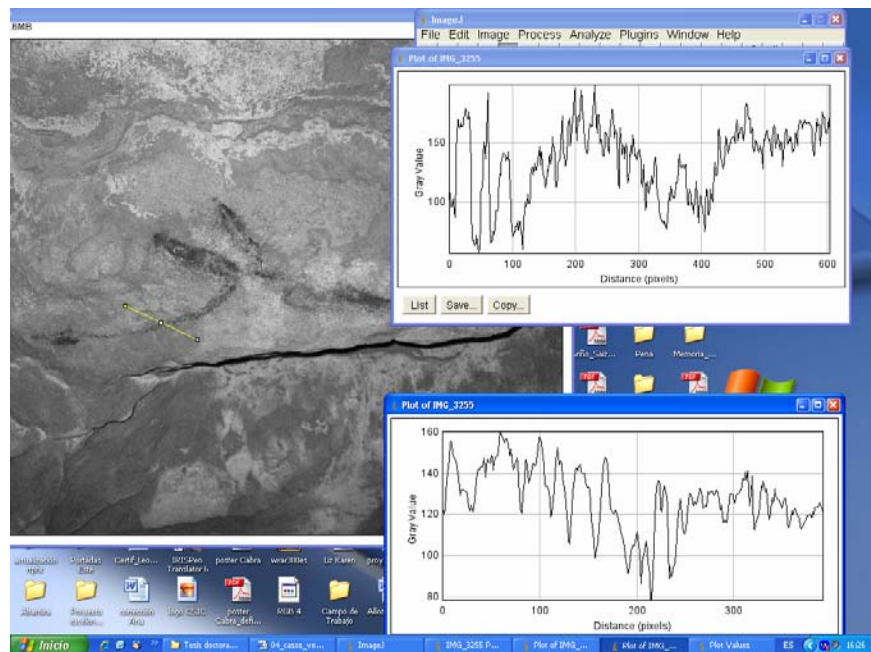


Figura 4.1.13. Delimitación de los intervalos de valores de gris apropiados para la binarización por medio de transectos de la imagen.



Figura 4.1.14. Calco vectorial de la cierva de la zona central del panel pictórico de la sala de La Hoya.

4.1.3.C. LAS CABRAS A LA DERECHA DEL PANEL

Las dos figuras de cabras situadas en el área derecha del panel presentaban mayores dificultades que la cierva para elaborar su calco. La existencia de un relieve menos plano en el soporte que el

que tenía la zona de la pared en la que se sitúa la cierva generaba gran cantidad de sombras lineales que promovían una mayor correlación entre las distintas bandas. La estrategia más apropiada era aquí la descorrelación y elaboración de imágenes en falso color ponderando la segunda Componente Principal, toda vez que, aunque en la primera CP aparecía bastante bien reflejada la pintura, eran abundantes los píxeles con valores cercanos a la misma, introduciendo ruido en la clasificación (Figura 4.1.15). La varianza explicada en cada una de las bandas aparece reflejada en la Tabla 4.1.2. Como puede verse, en este caso la primera CP resume un porcentaje mayor de información, que en general se refiere al albedo de la imagen, dando cuenta tanto de la microtopografía como de la presencia de pintura. La segunda CP, que recoge un porcentaje de varianza cercano al 12%, muestra fundamentalmente la pintura. La información residual de la tercera CP podemos considerarla no relevante para la obtención del calco, si bien es la que contribuye a diferenciar más claramente entre las distintas composiciones presentes en la pared (Figura 4.1.16). Como se comentó más arriba, la combinación elegida como base para el calco ponderaba la segunda Componente Principal, utilizándola dos veces, aunque introducía también la primera, que presentaba del mismo modo una adecuada definición de la pintura. La combinación de estas dos bandas permitiría minimizar la aparición de píxeles de borde a la hora de clasificar la imagen. La imagen en falso color resultante se muestra en la Figura 4.1.17.

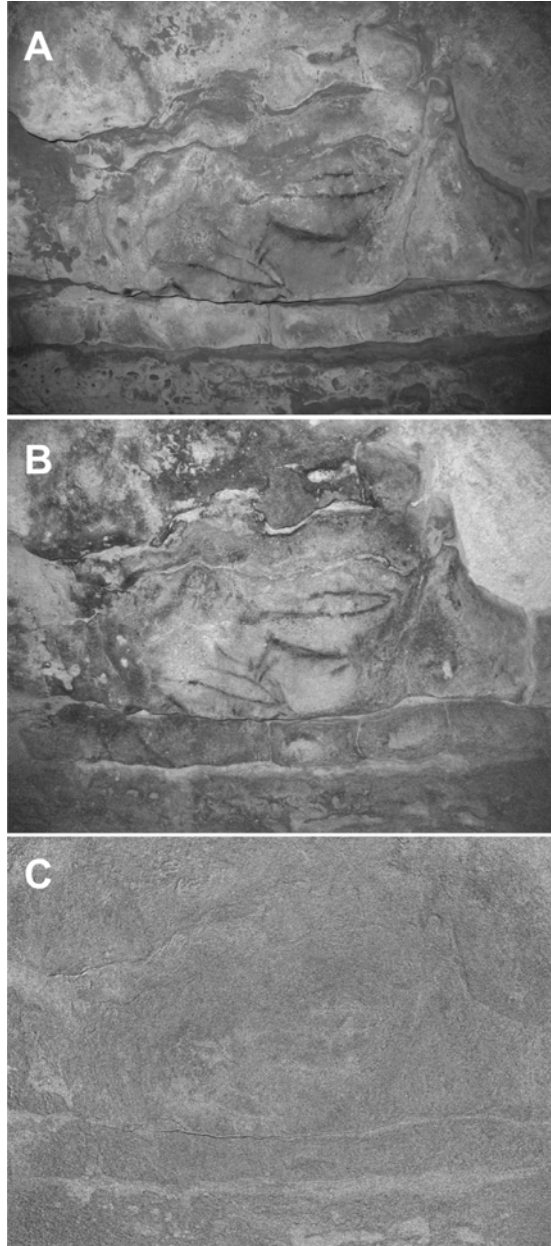


Figura 4.1.5. Bandas correspondientes a las Componentes Principales de las figuras caprinas de la derecha del panel.

Tabla 4.1.2. Varianza explicada por los autovalores correspondientes a las Componentes Principales para las cabras de la zona derecha del panel de la Sala de La Hoya.

Componente Principal	Autovalor	Varianza explicada (%)
1	3273,266	87,5792343
2	441,053	11,80077758
3	23,172	0,619988115



Figura 4.1.16. Imagen en falso color elaborada a partir de las tres Componentes Principales.

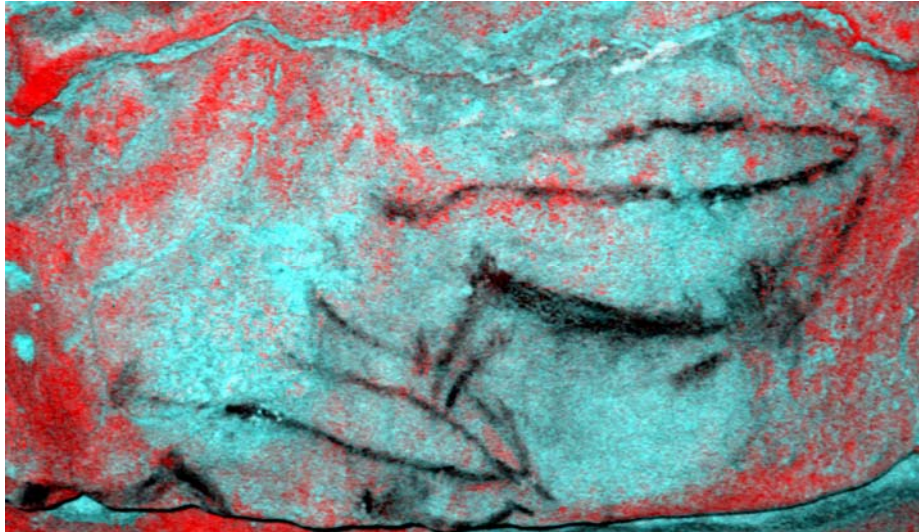


Figura 4.1.17. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP (CP1,CP2,CP2) utilizada como imagen base para la clasificación y vectorización.

Del mismo modo que con las otras figuras del panel, se realizó una clasificación digital de la imagen por métodos supervisados teniendo en cuenta los valores del píxel en transectos de la imagen que incluían tanto pintura como soporte. La imagen binaria resultante se vectorizó con el mismo paquete de software (Figura 4.1.18).



Figura 4.1.18. Resultado de la vectorización de la imagen clasificada de las cabras de la zona derecha del panel.

Como paso final, los diferentes calcos se escalaron y se ajustaron sobre el Modelo Digital de Elevaciones elaborado a partir de la topografía de alta resolución de la cueva del que se ha dado cuenta en el apartado dedicado a la metodología específica de este caso de estudio. La contextualización de los calcos mediante su integración en el MDE permite su comparación con el calco publicado por Breuil y Obermaier, que es en última instancia el objetivo que perseguimos. La Figura 4.1.19 muestra algunas vistas de los calcos ya integrados en el MDE.

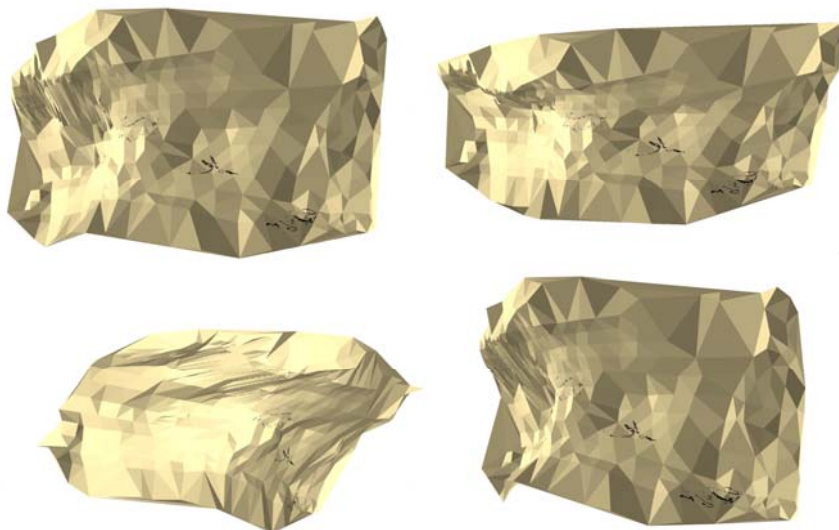


Figura 4.1.19. Diferentes vistas de los calcos de las diferentes figuras del panel integrados en el Modelo Digital de Elevaciones.

4.1.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La elaboración de calcos de arte rupestre por medios tradicionales supone la introducción de unos márgenes poco controlables de subjetividad en una parte primordial de la investigación científica como es la fase de obtención de datos (ROGERIO-CANDELERIA 2009 b). En el caso del panel de la sala de La Hoya, los calcos se elaboraron mediante dibujo a mano alzada, razón por la que cobra especial

importancia la posición del dibujante con respecto a las diferentes figuras del panel, así como la visibilidad del mismo.

La Figura 4.1.20 compara el calco de BREUIL y OBERMAIER (1935) con los que hemos obtenido en este trabajo. De la observación de esta figura y desde el conocimiento de la sala en la que se sitúa el panel podemos extraer como conclusión que los investigadores que realizaron el primer calco tuvieron necesariamente que utilizar varios puntos de vista ya que la sala no permite la observación al mismo tiempo de todos los motivos. El punto de vista utilizado para la visualización del modelo 3D se sitúa fuera de la sala, dentro de la roca encajante, un lugar al que estos investigadores no pudieron, lógicamente, acceder. De esta falta de un punto de vista común se coligen las diferencias geométricas entre un calco y otro. En particular, la figura de la cierva presenta las mayores deformaciones, probablemente por haber sido dibujada desde un punto de vista más bajo que la figura (posición sentada del dibujante). También de esta carencia de un punto de vista de conjunto puede provenir la diferente composición del panel en los dos calcos, que para los autores del primero es horizontal mientras que para nosotros tiene una disposición claramente diagonal.

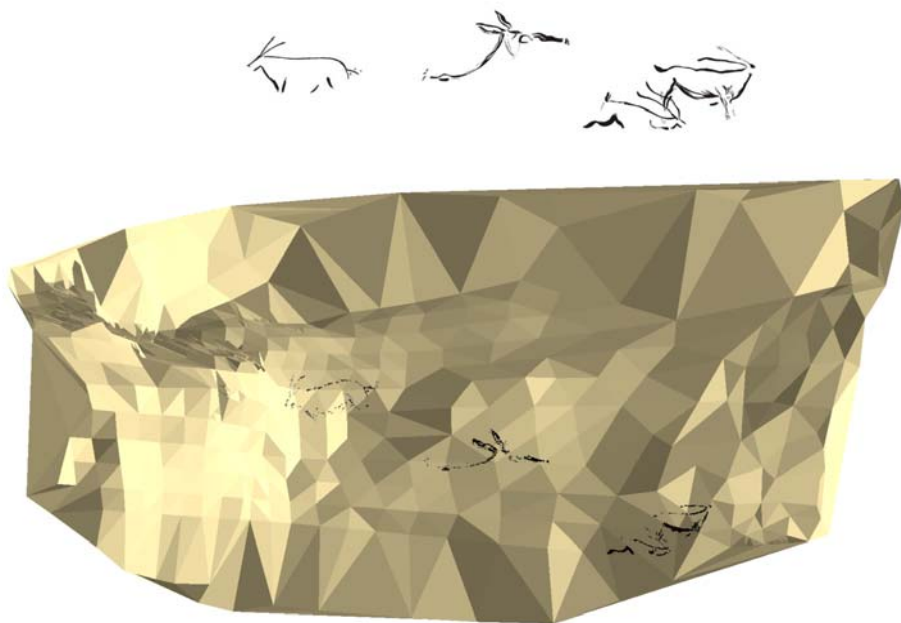


Figura 4.1.20. Calco de BREUIL y OBERMAIER (1935) (arriba) y calco elaborado en este trabajo superpuesto al MDE de la cueva (abajo).

Dejando a un lado las diferencias geométricas entre los calcos, llama la atención la falta de detalle de la figura de la cabra en el calco de principios del siglo XX con respecto a las demás figuras del panel. Creemos que esta falta de detalle, que puede apreciarse en la ausencia en el calco de algunos elementos efectivamente presentes en la figura, como la oreja o las diferencias en el tratamiento de las cuernas, puede deberse a la dificultad que ya encontraron estos autores para observar claramente la cabra en el momento de realizar su calco, que probablemente ya entonces estuviera cubierta de gran parte de las concreciones que permanecen hoy día sobre ella dificultando su contemplación.

Además de permitir la elaboración de un calco más ajustado a la realidad del panel, la aplicación de técnicas de análisis de imagen ha permitido obtener otra información, relevante para la conservación de las figuras, como es la presencia de cuatro diferentes comportamientos ópticos de las concreciones, que en la imagen en

falso color aparecen como azulado, violeta, verde claro y verde oscuro, mientras que a simple vista sólo se perciben dos: blancas y amarillentas. Creemos que esta diferencia en la respuesta óptica de los materiales debe tener que ver con su estructura y/o composición, por lo que una adecuada caracterización de estas cubiertas puede añadir información muy relevante para comprender los procesos tafonómicos experimentados por esta figura y elaborar modelos predictivos a partir de estos datos.

Como conclusión final de este trabajo ha de remarcarse que los datos y resultados obtenidos han sido producto de una metodología no invasiva, que no ha necesitado ni contacto con el panel ni prolongadas estancias junto al mismo, minimizando la posible afección que pudiera incidir en su conservación. El uso de metodologías basadas en el análisis de imagen para la documentación de bienes culturales cuya conservación recae en un equilibrio microambiental tan delicado como son las manifestaciones rupestres en cuevas se convierte en fundamental. Desde un punto de vista conservacionista, la documentación utilizando las técnicas tradicionales no puede justificarse desde que existe la posibilidad de aplicar técnicas no invasivas.

4.2

Monitorización de cubiertas bióticas en la cueva de Altamira

4.2.1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los diferentes proyectos de investigación llevados a cabo en la cueva de Altamira en relación con la conservación de sus manifestaciones parietales se detectó el desarrollo de varios tipos de colonizaciones microbianas que proliferaban en distintas zonas de la cueva. Estas colonizaciones se caracterizaban *de visu* por la presencia de manchas macroscópicas de color blanco, gris y amarillo que correspondían con tipos diferentes de biopelículas con poblaciones microbianas diversas. En cada uno de estos tipos de colonizaciones

existe cierta variabilidad en cuanto a morfología, dimensiones y tonalidades de color (Tabla 4.2.1)

Para cada tipo de colonización se ha observado diferente distribución y condiciones microambientales. Así, se ha observado que existe una relación directa entre el rango de oscilación térmica (e higrométrica) de las distintas zonas de la cueva, que dependen a su vez de la proximidad a la entrada, y el grado de colonización observado en techos y paredes (SÁNCHEZ-MORAL *et alii* 2009). La densidad de la colonización microbiana decrece progresivamente hacia el interior de la cueva, siendo particularmente intensa en la zona de la entrada, en varias zonas sobre las paredes y el techo, donde la oscilación termohigrométrica es mucho mayor, y hacia el interior, en el Cruce y la Sala de los Muros (Figura 4.2.1).

Los resultados de un trabajo anterior (PORTILLO 2007) señalan entre los microorganismos presentes en las colonizaciones blancas un 21,6% de secuencias pertenecientes al dominio *Archaea* y un 78,4% pertenecientes al dominio *Bacteria*. Entre estas últimas, la división *Proteobacteria* estaba representada por el 60% de las secuencias obtenidas a partir de ADN y ARN. El 53% de las secuencias obtenidas a partir de ARN pertenecían a la subdivisión *Gamma-Proteobacteria*, aunque esta misma subdivisión representaba una porción mínima del ADN total. En función de las secuencias obtenidas a partir de ADN, la división *Actinobacteria* era la mayoritaria, con un 32% de las secuencias. Aunque este dato se mencionó en el capítulo 2 de este trabajo, no está de más recordar que el ADN permite detectar todos los microorganismos presentes, mientras que el ARN detecta tan sólo los metabólicamente activos. Para las colonizaciones amarillas, los grupos más importantes eran las *Alfa-*, *Beta-*, *Gamma-* y *Delta-Proteobacteria*, así como *Acidobacteria* y *Actinobacteria*. Las colonizaciones grises, por su parte mostraban que las *Proteobacterias* constituían gran parte de las comunidades microbianas, con un 77% de las secuencias obtenidas a partir de ADN y un 69% de las obtenidas a partir de ARN. Entre estas, las *Gamma-Proteobacteria* eran las mayoritarias, con un 54% de las secuencias obtenidas de los estudios del ADN presente y un 38% de las secuencias obtenidas de ARN. Otros grupos bacterianos importantes eran *Acidobacteria*, con

un 23% de las secuencias obtenidas de ARN y *Actinobacteria*, con un 22% de las obtenidas de ADN.

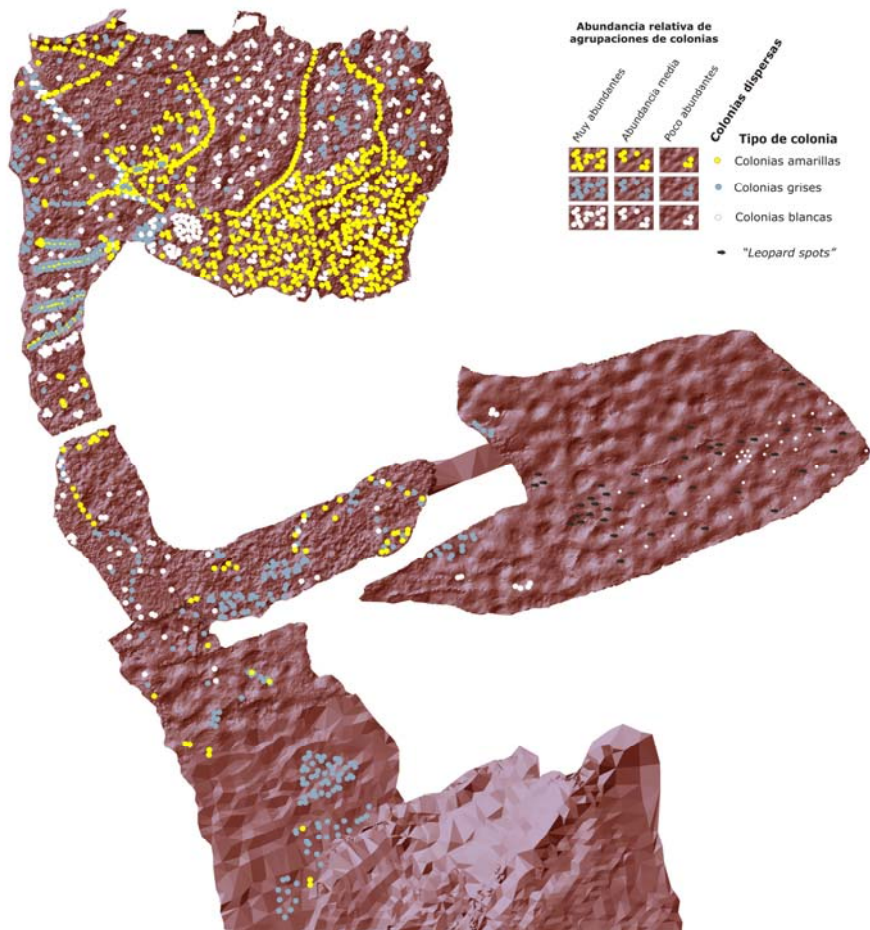


Figura 4.2.1. Distribución de los distintos tipos de colonizaciones sobre los techos colonizados en la cavidad. Fuente: SÁNCHEZ-MORAL et alii (2009).

Tabla 4.2.1. Características principales de cada tipo de colonización microbiana estudiada junto con los datos de localización preferente, soporte y condiciones microambientales de desarrollo, según SÁNCHEZ-MORAL *et alii* (2009).

Microfábricas minerales asociadas	Caracterización microestructural	Descripción macroscópica de las colonias				
		Localización preferencial y condiciones microambientales	Soporte	Descripción de visu		
<p>Agregados microcriptocristalinos en roseta o tipo “nido” (calcita): 2-4 μm ϕ.</p> <p>Elementos esferoidales y hemiesferoidales (carbonato cálcico): 8-10 μm ϕ.</p>	<p>Organización radial y ramificada divergente hacia el exterior.</p> <p>Ramificaciones muy bien definidas y superficie homogénea; hasta 100 μm ϕ</p> <p>Denso entramado de filamentos microbianos (<0,5 μm ϕ).</p>	<p>Especialmente en Techo Pasillo de Cruce y de acceso a Polícromos. Techo y muros en zona Entrada.</p> <p>Toleran rangos de oscilación termohigrométrica más amplios.</p>	<p>Roca fresca o con recubrimiento de arcilla.</p>	<p>Relieve escaso a apreciable.</p>	1,5-3 mm ϕ	Colonias blancas
		<p>Pequeñas oquedades en superficies corroídas.</p> <p>Techo Sala Polícromos.</p> <p>Condiciones termohigrométricas restringidas. Zonas muy estables y protegidas.</p>	<p>Roca alterada.</p>	<p>Homogénea o radial y ramificada.</p> <p>Contorno circular bien definido.</p>	< 1mm ϕ	
<p>Agregados microcriptocristalinos en roseta o tipo “nido” (calcita): 2-4 μm ϕ.</p> <p>Elementos esferoidales (carbonato cálcico): 8-10 μm ϕ.</p>	<p>Organización dendrítica radial divergente. Contorno circular bien definido.</p> <p>Ramificaciones, habitualmente 10-30 μm ϕ Estructura interna denso entramado desordenado de:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Filamentos microbianos (<0,5 μm ϕ) -Abundantes bacterias cocoides (<0,7μm ϕ) -EPS 	<p>Techos y muros.</p> <p>Zona Entrada y Pasillo del Cruce.</p> <p>Tolerancia a rangos termohigrométricos mayores.</p>	<p>Recubrimiento arcilloso.</p>	<p>Contorno circular a irregular.</p>	1,5-2,5 mm ϕ	Colonias grises
		<p>Techo, en torno a grietas y zonas protegidas (concavidades).</p> <p>Mayor proliferación en Pasillo acceso a Polícromos y Sala Muros.</p> <p>Condiciones termohigrométricas rangos restringidos.</p>	<p>Recubrimiento arcilloso y roca alterada.</p>	<p>Poco relieve.</p>	< 1mm ϕ	

Tabla 4.2.1 (continuación)

No observadas.	Organización dendrítica a caótica.	Zonas de resalte y ángulos de condensación preferencial.		2-5 mm ϕ	Colonias amarillas
	Ramificaciones (15-35 $\mu\text{m } \phi$) y tapices microbianos. Estructura interna divergente y encrepada de: <ul style="list-style-type: none"> - Filamentos microbianos (<0,7 $\mu\text{m } \phi$) - Bacterias cocoides (<1 $\mu\text{m } \phi$) - Abundante EPS 	Máximo en zona de la Entrada, especialmente en muros. Preferencia por zonas con rangos termohigrométricos mayores.	Recubrimiento arcilloso sobre roca. Roca fresca ocasionalmente.	Radial-dendrítica a caótica. Contorno circular a irregular. Relieve marcado.	

La posibilidad de realizar un estudio a medio plazo que brindaba el convenio con el Ministerio de Cultura hizo posible plantear la monitorización mediante análisis de imagen de la extensión de dichas colonizaciones bacterianas. Podía así procederse a la toma de datos para la elaboración de varias series fotográficas temporales que permitieran la cuantificación en algunos puntos seleccionados de la evolución de estas manchas y determinar, de este modo, si en las condiciones microclimáticas que han imperado en la cueva en el período que abarca los años 2007 a 2009 las colonizaciones se extienden o si, por el contrario, se encuentran estabilizadas. Debe señalarse que, desde el cierre de la cueva en 2002, el acceso a la misma es muy restringido y por períodos de tiempo muy limitados y ceñidos estrictamente a las necesidades de investigación y mantenimiento.

Como se ha visto en capítulos anteriores, las técnicas de análisis de imagen tienen un amplio campo de aplicación que va desde la teledetección ambiental a las ciencias biomédicas, pasando por la petrología o la arqueometría, por citar algunas materias concretas en las que su utilización es habitual o frecuente. Aplicadas a la monitorización del desarrollo de biopelículas microbianas, estas técnicas han obtenido resultados apreciables (ROGERIO-CANDELERA 2008, ROGERIO-CANDELERA *et alii* 2008 b,c, GOMES 2008, GOMES *et alii* 2008 b, como ejemplos recientes), con la peculiaridad de no necesitarse ni contacto ni muestreo. Esto último es de especial importancia cuando se trata de estudiar procesos como el biodeterioro de bienes culturales, cuyas especiales características aconsejan el uso de estrategias de investigación no

invasivas. En este apartado se da cuenta de la aplicación de diversas técnicas de análisis de imagen para la monitorización de diversas manchas de origen microbiano presentes en la cueva de Altamira para el periodo 2007-2009.

4.2.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.2.2.A. ELABORACIÓN DE SERIES TEMPORALES

Para llevar a cabo el estudio se disponía de fotografías digitales estándar en el espacio de color RGB (tres bandas, correspondientes respectivamente a la reflectividad en los intervalos aproximados de longitud de onda de 400-500, 500-600 y 600-700 nm) y escaladas de los puntos de control 1, 3, 5 y 6, obtenidas en los años 2007 y 2009 y que corresponden respectivamente a puntos situados en la Sala de Entrada, el cruce del pasillo de acceso con el pasillo de Polícromos, la Sala de los Muros y la Sala de Polícromos (Figura 4.2.2).

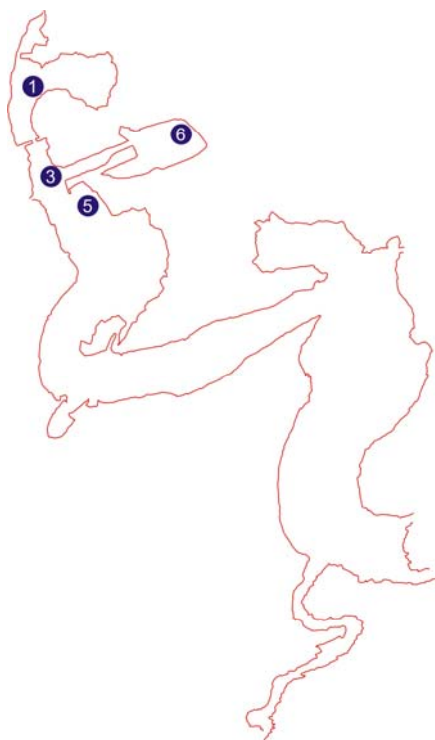


Figura 4.2.2. Localización en la planta de la cueva de los distintos puntos de control incluidos en este estudio.

La profundidad en píxeles de las distintas fotografías era diferente, así como el encuadre que, si bien casi idéntico, no permitía la superposición de los diversos fotogramas sin tratamiento previo. Las imágenes se tomaron con una cámara fotográfica digital Canon EOS 30D con dos fuentes LitePad DL de 6"x3", que aportaban una intensidad lumínica de 900 lux con una temperatura de color de 6000°K. Las fotografías obtenidas en 2007 tenían un tamaño de 2840x1654 píxeles, con una resolución de 300 ppp. Las dimensiones de las fotografías de 2009, por el contrario, eran de 5120x3413 píxeles, también con una resolución de 300 ppp, lo que significa que el tamaño de píxel entre las fotos de 2007 y 2009 varía en una relación de 3,6 a 1, es decir, el área cubierta por cada píxel en 2009 es 3,6 veces menor que la cubierta por cada píxel de las imágenes de 2007. Estas características de partida hacían aconsejable su homogeneización tanto en términos geométricos como en resolución.

Las deformaciones con respecto a la realidad que están presentes en toda imagen fotográfica tienen dos orígenes diferenciados. Por una parte, las debidas a las características de las lentes y la cámara fotográfica utilizada. Por otra, las debidas a la naturaleza de las fotografías, como producto de una proyección cónica, en las que la distorsión aumenta a medida que nos alejamos del centro de la imagen. Para conseguir una ortofotografía, es decir, una fotografía con calidades métricas suficientes en toda su extensión, es necesario recurrir a la fotogrametría, lo que significa poder disponer de al menos dos imágenes calibradas del área a fotorrestituir, con puntos de control físicos situados en las paredes con distancias reales conocidas. Las características de la cueva como bien único integrante del Patrimonio de la Humanidad hacen este tipo de intervención no recomendable, en aras a evitar la invasividad del método de registro. Por ello, se decidió trabajar en términos relativos, considerando como ortofotografía a una de las fotografías del objeto de estudio, a la que se adaptarían las demás utilizando herramientas informáticas. Puesto que las fotografías se habían tomado en una posición sensiblemente normal a la superficie de estudio, debiéndose las diferencias geométricas fundamentalmente al microrelieve de las paredes, la solución adoptada pasó por considerar geométricamente correctas las fotografías de 2007. La geometría de las imágenes de 2009 se adaptó a las de 2007 mediante la asignación de 10 puntos de control, coincidentes con puntos singulares fácilmente identificables en los fotogramas y la aplicación de un algoritmo de transformación cúbica de ocho términos y en algunos casos cuadrática de 10 términos, con interpolación por el método del vecino más cercano (*nearest neighbour*) a todos los píxeles de las imágenes de 2009, utilizando como

imagen de control las de 2007. Con este tratamiento se conseguía homogeneizar la geometría, al tiempo que se reducía la profundidad de píxeles de las imágenes de 2009 para igualarla a las de 2007. La resolución máxima de las series pasaba a ser la de las imágenes de 2007, con lo que las series obtenidas eran comparables tanto en términos geométricos como de resolución. Para el análisis se descartaron las áreas cubiertas tan sólo por una de las fotografías, que por otra parte reflejaban áreas marginales a los dos fotogramas tanto en posición como en extensión.

Si bien la superponibilidad de las distintas imágenes era muy alta, ésta no era perfecta en algunos puntos, razón por lo que se decidió elegir áreas con alto nivel de superposición dentro de los fotogramas, y trabajar sólo con estas. En la elección de las áreas de trabajo pesó la existencia de diferentes soportes (roca encajante, arcillas) sobre los que se distribuían las manchas debidas a colonizaciones bacterianas, procurando que la misma fuera representativa de la variabilidad total de la información recogida en los fotogramas.

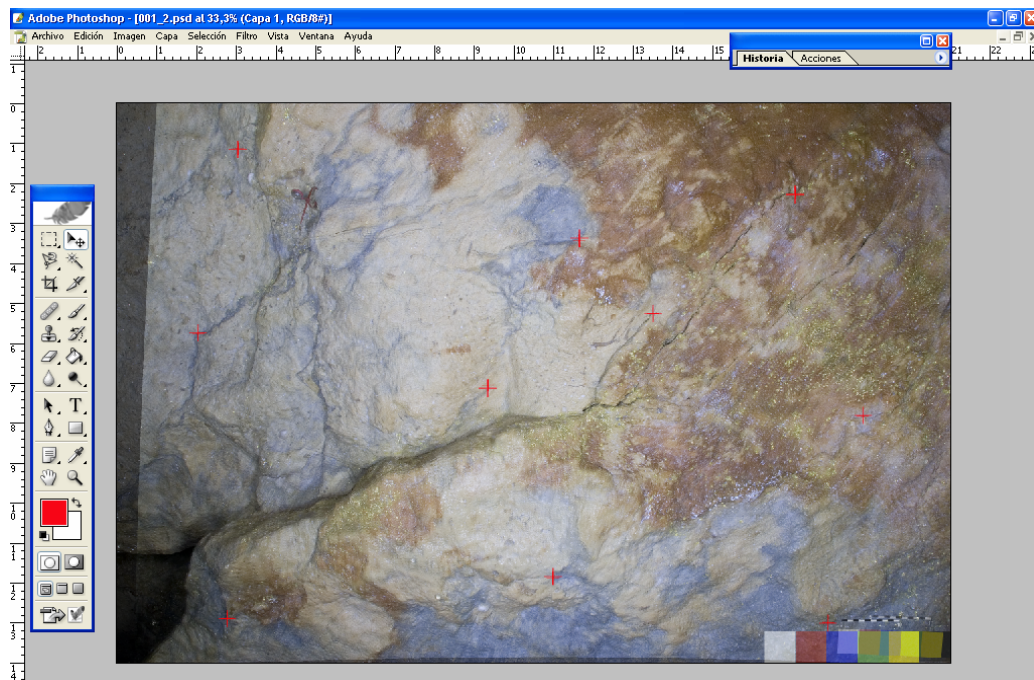


Figura 4.2.3. Superposición de fotogramas correspondientes a 2007 y 2009 en Adobe Photoshop CS.

La corrección geométrica de las imágenes se llevó a cabo utilizando el paquete de software *HyperCube* v. 9.6 (Army Geospatial Center, Alexandria, Virginia, Estados Unidos). Para garantizar la obtención de imágenes con el mismo número de píxeles, que correspondieran a la misma zona, las imágenes fueron superpuestas como capas diferenciadas en *Adobe Photoshop CS*, sobre las que se copió la misma selección que posteriormente se exportó como archivos TIFF (Figura 4.2.3). Estas selecciones han sido la base de análisis posteriores.

4.2.2.B. DETECCIÓN Y DIFERENCIACIÓN DE COLONIZACIONES BACTERIANAS

La diferenciación *de visu* de las colonias amarillas del resto es bastante fácil, puesto que estas presentan un tono amarillento que vira a dorado y que contrasta de manera importante con los otros dos tipos de colonizaciones. Por su parte, la distinción a simple vista entre las colonias blancas y las grises es una tarea delicada y, en general, no exenta de subjetividad.

Partiendo de que cada uno de los tipos de colonizaciones exhibe un comportamiento óptico diferenciado, la aplicación de técnicas de descorrelación de imagen pareció *a priori* una estrategia adecuada para la detección y diferenciación de los mismos. La técnica aplicada, el Análisis de Componentes Principales, como ya se ha explicado en el Capítulo 3, consiste *grosso modo* en la obtención de combinaciones lineales descorrelacionadas entre sí y que van explicando cantidades cada vez menores de variación en los datos (MARTÍNEZ ARIAS 1999). Toda la información del conjunto original de las variables se contiene en un nuevo conjunto de ejes, ortogonales entre sí, y por tanto descorrelacionados. La representación de los valores de cada píxel en función de este nuevo sistema de referencia permite destacar elementos minoritarios en las imágenes originales, haciendo así posible su detección e identificación y ulteriormente su cuantificación. Para imágenes de tres bandas, como son las imágenes digitales estándares en el espacio de color RGB, las bandas correspondientes a la segunda y tercera componentes principales aportan la información más relevante, ya que permiten hacer salir a la luz los datos que enmascara la superabundancia de la primera componente principal, en la que aparecen registrados los datos redundantes de las tres bandas utilizadas para el análisis. Así, para la detección de motivos poco destacados en imágenes altamente correlacionadas, las componentes principales minoritarias han resultado de gran valor como se ha puesto de manifiesto en la mejora de la visualización de motivos rupestres (PORTILLO *et alii* 2008 a), o en la detección de diferentes elementos presentes en pinturas murales romanas (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2010 b), con lo que las bandas correspondientes a estas componentes principales minoritarias, utilizadas como base para elaborar

imágenes en falso color, permiten obtener resultados similares a una clasificación no supervisada. El software empleado para la obtención de imágenes basadas en las Componentes Principales, así como para la elaboración de imágenes en falso color fue *HyperCube* v. 9.6, calculando las Componentes Principales por el método de la matriz de covarianzas.

Como ya hemos comentado, la diferenciación de colonizaciones blancas y grises no está exenta de subjetividad cuando se hace *de visu*. Tampoco aplicando técnicas de descorrelación de imágenes se obtenían resultados satisfactorios, puesto que ambas daban una respuesta espectral muy próxima por lo que proliferaban los “píxeles de borde”, es decir, aquellos píxeles que pueden incluirse en más de una categoría (MONTERO RUIZ *et alii* 1998: 166) resultando muy complicada una clasificación digital precisa de las imágenes. Para intentar paliar este problema, se recurrió a la iluminación con luz ultravioleta, que aportaría información espectral complementaria a la ya obtenida en el intervalo del visible. La iluminación con fuentes lumínicas que emiten en longitudes de onda que entran en el intervalo del ultravioleta produce en algunos materiales fluorescencia. Esta emisión lumínica en el intervalo del visible se registra digitalmente con una cámara fotográfica convencional, produciendo, al igual que las fotografías convencionales, tres bandas codificadas en escala de grises que juntas componen una imagen en color en el espacio de color RGB. La utilización de esta iluminación ha permitido la diferenciación de las manchas grises y blancas, si bien no podemos contar con información numérica con fines comparativos, al haberse efectuado sólo una campaña de fotografía de fluorescencia inducida por ultravioleta en el verano de 2009.

4.2.2.C. DELIMITACIÓN DE INTERVALOS DE VALORES DE PÍXEL RELEVANTES Y MEDICIÓN DE ÁREAS OCUPADAS POR ESTOS

La diferente respuesta espectral de las distintas colonizaciones microbianas tiene su reflejo en una diferente codificación en niveles de gris, una vez descorrelacionada la imagen y vuelta a mapear en imágenes en falso color. Por ello, en cada una de las imágenes utilizadas para la medición, convertidas a escala de grises, se seleccionaron transectos lineales que permitieran abarcar la amplitud de valores en niveles de gris, tanto correspondientes a las distintas colonizaciones como a los diferentes sustratos sobre las que estas se desarrollan. La representación bidimensional de los diferentes transectos, en una escala que va de 0 (negro) a 255 (blanco), permitió detectar gráficamente los diferentes intervalos de gris relevantes para la medición del área ocupada por las diferentes colonizaciones bacterianas. Una vez detectados los

intervalos relevantes, se aplicó a las imágenes un algoritmo de binarización, transformando las imágenes base en imágenes binarias en las que los valores de gris incluidos en los intervalos de interés permanecen en negro mientras que el resto de los píxeles se anulan para la medición, permaneciendo en blanco. Una vez escaladas las imágenes, el conteo de píxeles negros permite dar un valor numérico del área ocupada por las diferentes colonizaciones. El conjunto de estas operaciones con las imágenes se llevó a cabo utilizando el paquete de software *ImageJ* v. 1.41o (National Institutes of Health, Rockville, Maryland, Estados Unidos). Los resultados de las diferentes mediciones se exportaron a *Excel* para ulteriores cálculos.

4.2.3. RESULTADOS

4.2.3.A. PUNTO DE CONTROL 1



Figura 4.2.4. Situación del Punto de Control 1 y área seleccionada para el análisis de imagen.

El punto de control 1 se sitúa en el techo de la entrada de la cavidad (Figura 4.2.4). El área seleccionada para la medición de la superficie ocupada por las diferentes colonizaciones bacterianas en el punto 1 presentaba a simple vista una importante cantidad de manchas, tanto amarillas como blancas/grises.

Manchas amarillas

Para destacar las colonizaciones amarillas, el análisis de Componentes Principales permitió comprobar que la tercera Componente Principal era la que definía mejor estas manchas. Para abarcar toda la variabilidad de las mismas, se decidió utilizar también la segunda Componente Principal para el análisis. A partir de estas bandas se elaboraron imágenes en falso color en el espacio RGB, utilizándose dos veces la banda correspondiente a la tercera CP y una vez la banda generada en la segunda CP. El resultado gráfico puede apreciarse más abajo (Figura 4.2.5), destacándose las manchas amarillas como áreas blanquecinas en la imagen.

Aunque las imágenes son, en apariencia, muy similares, una inspección detallada permite apreciar que en la imagen de 2007 pueden diferenciarse gran cantidad de puntos azules en la zona blanquecina, bastante menos abundantes en la imagen de 2009. Al mismo tiempo, puede apreciarse que el tamaño y la forma de algunas de estas manchas han variado, en general para aumentar.

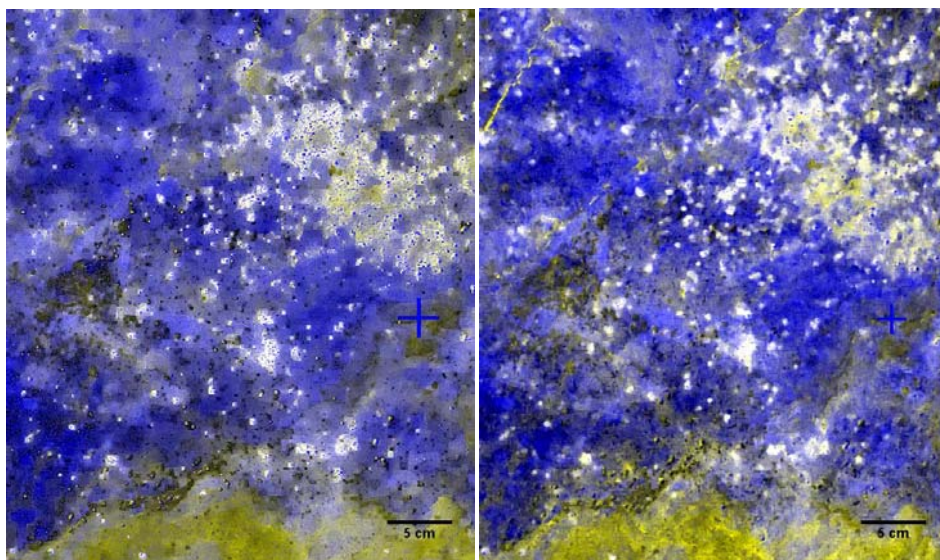


Figura 4.2.5. Imágenes en falso color del área seleccionada del punto de control 1 (CP3, CP3, CP2). Izquierda, fotograma de 2007. Derecha, fotograma de 2009.

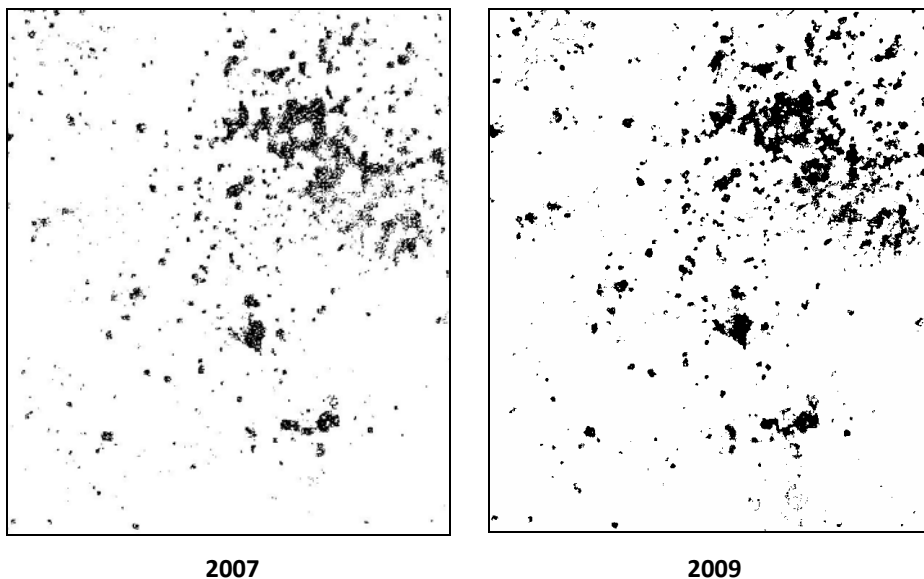


Figura 4.2.6. Superficie ocupada por las colonizaciones amarillas en 2007 y 2009.

No parecen detectarse manchas nuevas en la imagen de 2009, aunque sí parece que alguna mancha pequeña de la imagen de 2007 ha desaparecido en la de 2009. Probablemente la desaparición se deba a la homogeneización radiométrica que ha tenido que efectuarse como ya se comentó en el apartado Material y Métodos, que ha podido tener como efecto el enmascaramiento de los valores de algunos píxeles. Por otra parte, las manchas azules en las imágenes en el centro de las manchas blanquecinas puede deberse a la presencia de gotas de agua en los fotogramas, por lo que la cuantificación debería también hacerse contando el espacio ocupado por los “agujeros” que cubren las gotas de agua. Gráficamente, existen dos posibilidades para tener en cuenta estos espacios. Por una parte, es posible cuantificar incluyendo las áreas interiores no seleccionadas, pero de esta manera se cuantificarían además zonas interiores sin colonizaciones amarillas que no pueden atribuirse sin más a la presencia de gotas de agua. Por otra parte, las imágenes binarias siempre pueden “cerrarse” y después “abrirse” mediante la aplicación de sendos algoritmos, para incluir las pequeñas áreas no abarcadas por la selección. Sin embargo, la aplicación de estos algoritmos tiene el inconveniente de que extiende la selección hacia áreas no ocupadas por colonización alguna, falseando en cierto modo los datos obtenidos. Se procedió, por ello, a cuantificar sin tener en cuenta los posibles “agujeros”. La selección de los niveles de gris pertinentes para su cuantificación (intervalo

[190-255]) ha dado como resultado gráfico la Figura 4.2.6, en la que puede apreciarse como las manchas son mayores y más cerradas en 2009 que en 2007. A la hora de cuantificar, esto se traduce en un aumento de la superficie cubierta entre estos dos momentos (Tabla 4.2.2).

Tabla 4.2.2. Superficie ocupada por las manchas amarillas en el área delimitada para el punto de control 1.

fotograma	área ocupada (cm ²)	% área total
2007	33,720	2,174
2009	64,076	4,131

El área total cubierta por la selección es de 1550,99 cm², por lo que los datos indican que la superficie total cubierta por las manchas amarillas prácticamente se ha duplicado entre 2007 y 2009, si bien sigue ocupando un porcentaje muy pequeño del área estudiada. Para contrastar la información cuantitativa obtenida por este método, se hizo una selección de detalle dentro de la imagen que abarcaba manchas sin puntos azules, que tentativamente hemos identificado con presencia de gotas de agua. En esta selección, con muchas menos manchas amarillas y fácilmente controlable por su pequeña extensión (Figura 4.2.7), se efectuó el proceso completo de descorrelación y una nueva medición que tuvo como resultado que en 2007 las manchas amarillas presentes en esta pequeña selección ocupaban una superficie de 1,453 cm², mientras que en 2009 la superficie ocupada por esas mismas manchas era de 2,203 cm², lo que se traduce en un aumento de 1,5 veces de la superficie ocupada por las manchas en este intervalo de tiempo.

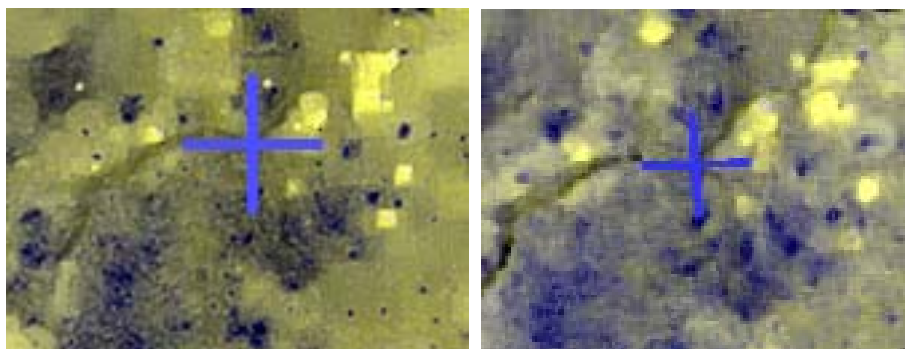


Figura 4.2.7. Área de control seleccionada para validar la medición de las manchas amarillas. Izquierda, 2007; derecha, 2009. Imágenes en falso color a partir de las bandas de CP (CP3, CP3, CP2).

Manchas blancas/grises

Para las manchas blancas y grises, la banda correspondiente a la segunda CP era la que mejor las definía, por lo que se optó por elaborar imágenes en falso color que tuvieran la información que contenía esta banda como elemento preponderante. Así, la imagen en falso color que mejor definía estas colonizaciones resultó ser la elaborada con dos veces la CP2 y una vez la CP3 (Figura 4.2.8). A partir de ella, y tras su conversión a imagen de 8 bits, se seleccionaron los intervalos de píxeles que mejor definían la extensión de estas colonizaciones.

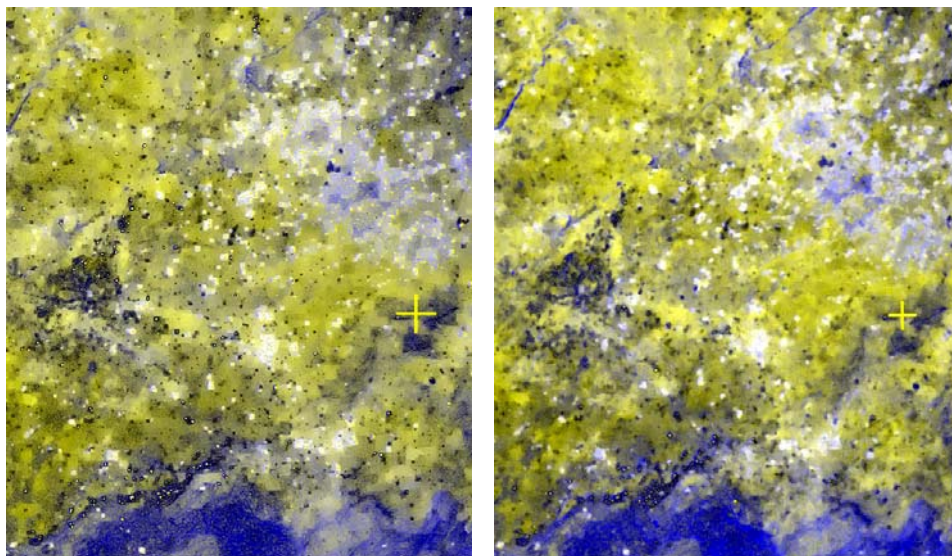


Figura 4.2.8. Extensión de las colonizaciones blancas/grises en el área seleccionada para el punto de control 1. Imágenes en falso color (CP2, CP2, CP3). Izquierda, 2007. Derecha, 2009.

Los resultados de la cuantificación se reflejan gráficamente en la Figura 4.2.9 y numéricamente en la Tabla 4.2.3. Según estos datos se aprecia una reducción de la superficie ocupada por estas colonizaciones desde un 2,89% del área total cubierta por el análisis a un 1,65%. En esta medida han podido influir las transformaciones geométricas a que se ha sometido el fotograma de 2009, perdiéndose datos relativos al margen superior del fotograma. No obstante, se aprecia una reducción del número de manchas blancas/grises registradas, aunque al mismo tiempo se aprecia una intensificación de la señal en 2009 para algunas de las manchas, que se hacen más densas.

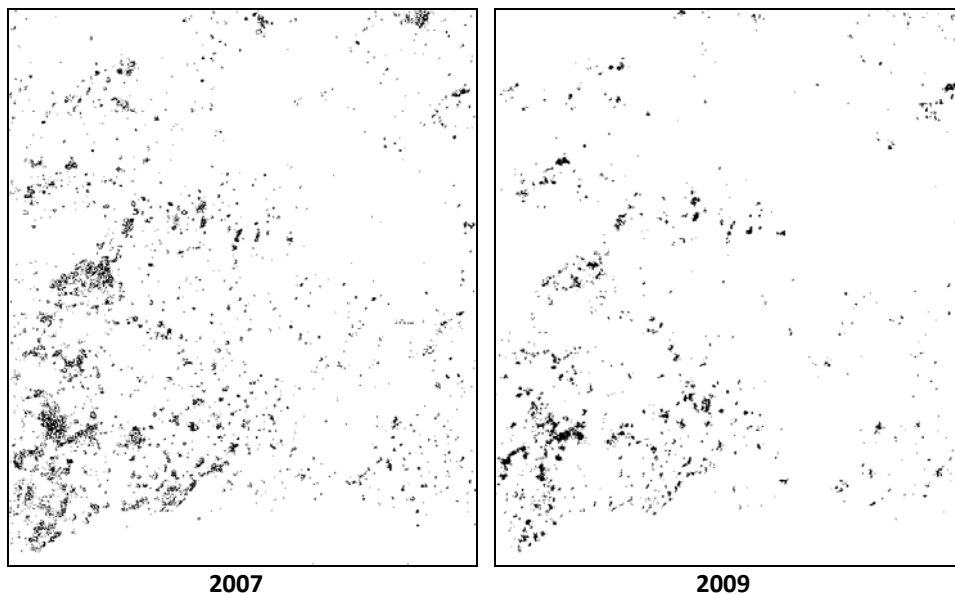


Figura 4.2.9. Área seleccionada para su cuantificación. A la izquierda, fotograma de 2007, a la derecha, fotograma de 2009.

Tabla 4.2.3. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 1.

fotograma	área ocupada (cm ²)	% área total
2007	44,90	2,89
2009	25,57	1,65

4.2.3.B. PUNTO DE CONTROL 3

El punto de control 3 se sitúa en el techo del cruce, en la bifurcación que conduce a la sala de los Polícromos (Figura 4.2.10). Las bandas obtenidas por Análisis de Componentes Principales para el punto de control número 3 destacaban lo suficiente las distintas cubiertas de interés en la imagen como para utilizarlas por sí mismas. Así, la segunda Componente Principal definía perfectamente las manchas blancas/grises, mientras que la banda correspondiente a la tercera CP definía las manchas amarillas. Para el punto 3, los fotogramas originales de 2007 y 2009 divergían bastante en encuadre. A pesar de ello, los fotogramas fueron utilizables para el análisis, si bien a costa de perder una importante extensión. (Figura 4.2.11)

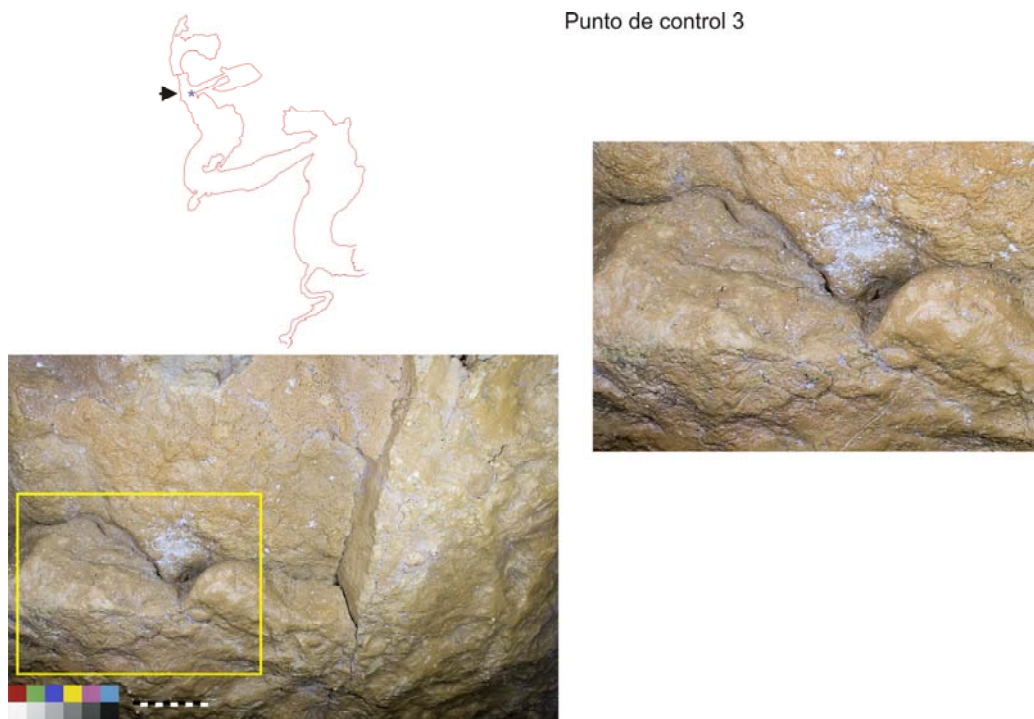


Figura 4.2.10. Situación del Punto de Control 3 y área seleccionada para el análisis de imagen.

Manchas amarillas

Como se ha comentado, la medición de la superficie ocupada por las manchas amarillas se realizó a partir de la banda correspondiente a la tercera Componente Principal ya que destacaban lo suficiente como para poder clasificar su intervalo de niveles de gris con garantías. La Figura 4.2.12 muestra las bandas utilizadas y la 4.2.13 los píxeles seleccionados para su cuantificación.

La Tabla 4.2.4 muestra los resultados de la medición de la superficie ocupada por las manchas amarillas. El área total de la superficie cubierta por la selección empleada para el análisis de imagen era de 2461.23 cm². El resultado muestra un ligero aumento en el área ocupada, que en parte podemos atribuir al margen de error de la cuantificación, por lo que podemos suponer a las manchas amarillas de este punto de control como estables.

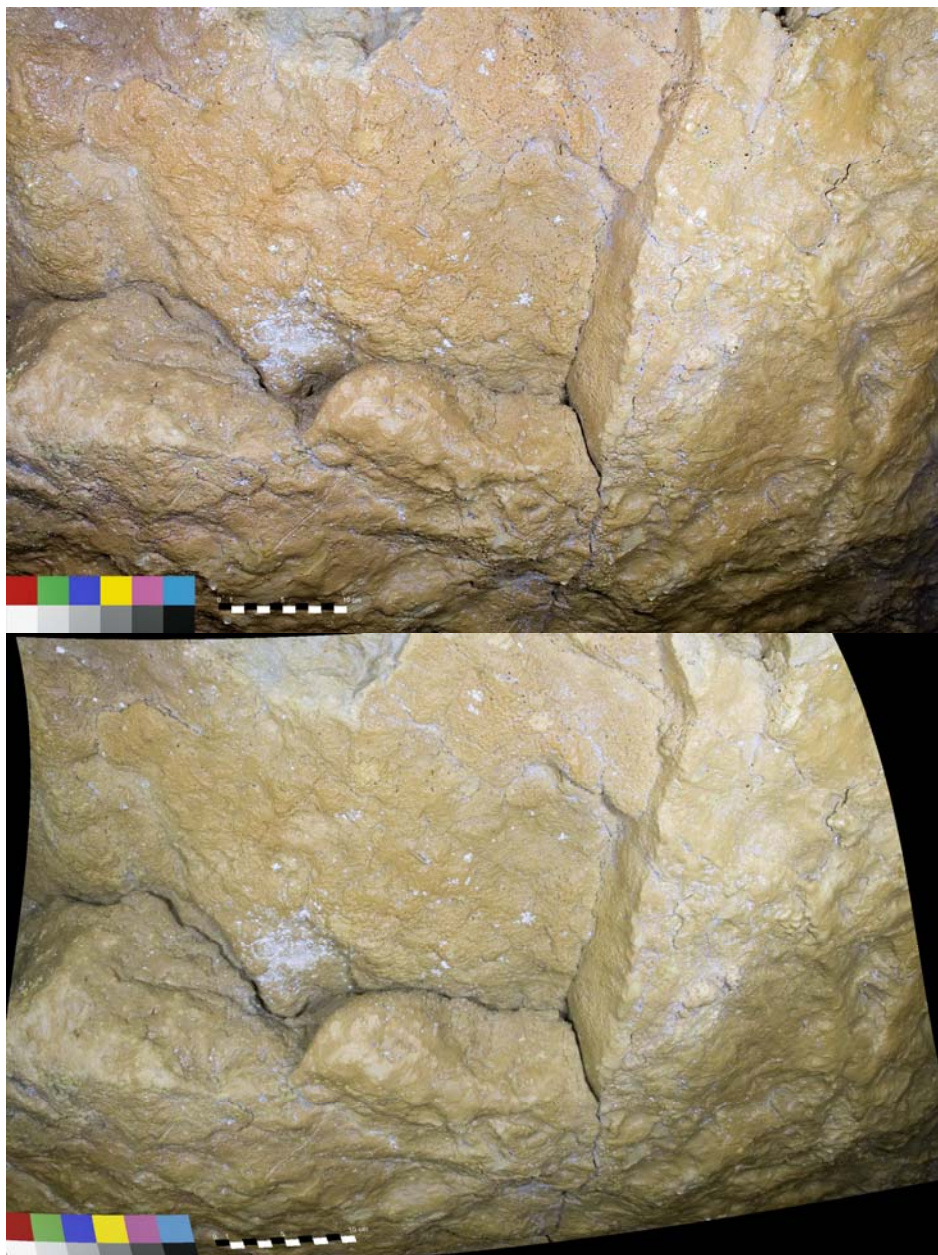


Figura 4.2.11. Arriba, área abarcada por el fotograma de 2007 para el punto 3. Abajo, fotograma de 2009 fotorrestituído con respecto al de 2007.

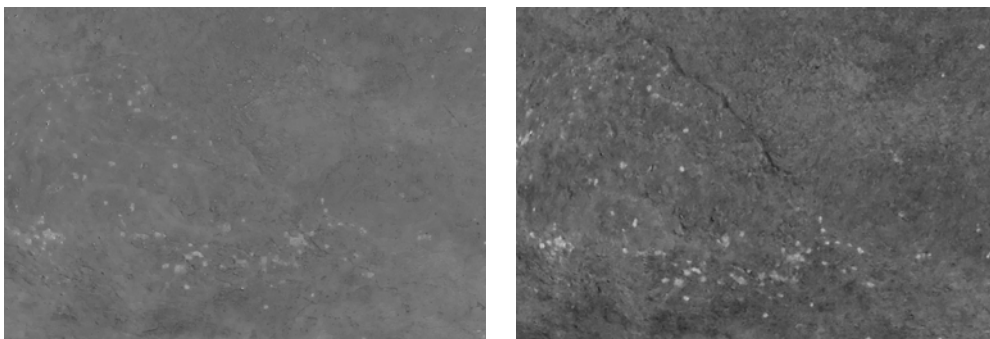


Figura 4.2.12. Izquierda, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2007. Derecha, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2009.

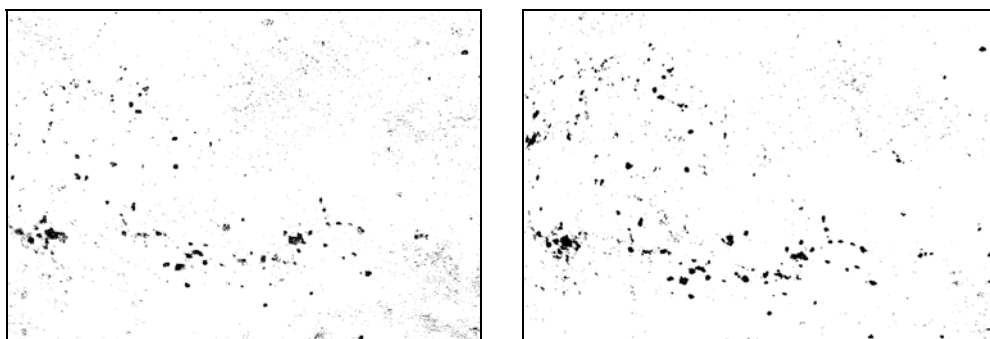


Figura 4.2.13. Área seleccionada para su cuantificación. A la izquierda, fotograma de 2007, a la derecha, fotograma de 2009.

Tabla 4.2.4. Superficie ocupada por las manchas amarillas en el área delimitada para el punto de control 3.

fotograma	área ocupada (cm ²)	% área total
2007	40,092	1,63
2009	46,241	1,88

Manchas blancas/grises

Las colonizaciones que hemos denominado como blancas/grises se definían suficientemente bien en la banda correspondiente a la segunda Componente Principal de los fotogramas del punto de control 3. Las Figuras 4.2.14 y 4.2.15 muestran, respectivamente, las bandas utilizadas y los píxeles seleccionados tras la aplicación del algoritmo de clasificación.

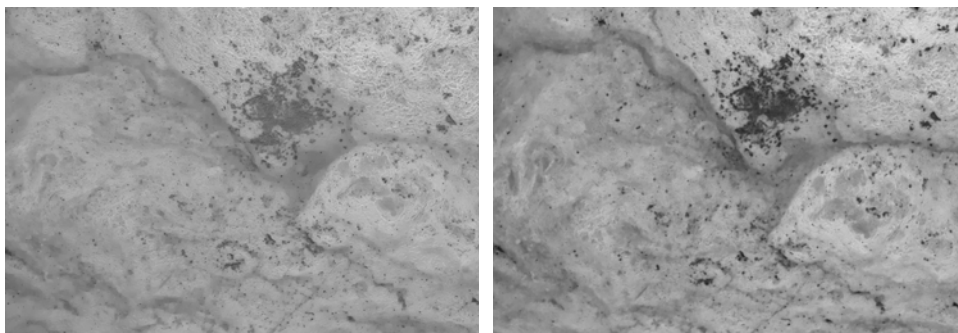


Figura 4.2.14. Izquierda, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2007. Derecha, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2009.

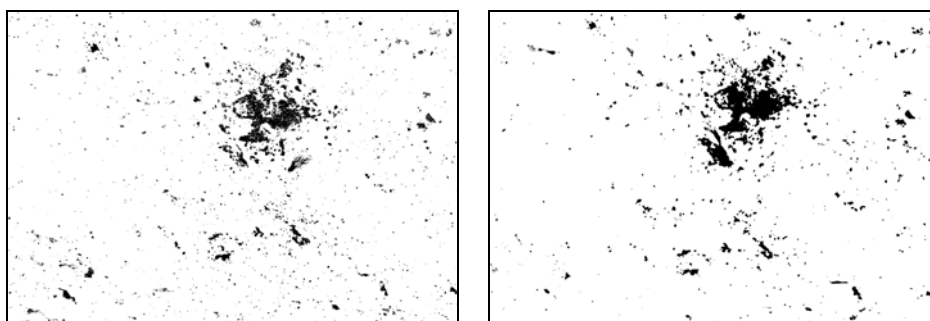


Figura 4.2.15. Área seleccionada para su cuantificación. A la izquierda, fotograma de 2007, a la derecha, fotograma de 2009.

El resultado de la medición muestra un ligero incremento de la superficie ocupada por las colonizaciones blancas/grises (Tabla 4.2.5).

Tabla 4.2.5. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 3.

fotograma	área ocupada (cm ²)	% área total
2007	89,443	3,63
2009	99,483	4,04

4.2.3.C. PUNTO DE CONTROL 5

El punto de control 5 se localiza en el techo de la sala de los muros (Figura 4.2.16). Una vez rectificado el fotograma de 2009 con respecto al de 2007 (Figura 4.2.17), el área posible de trabajo se redujo un tanto, por lo que de

nuevo se efectuó una selección en la imagen para evitar la posible pérdida de información radiométrica en las áreas marginales.

El tratamiento exploratorio por análisis de Componentes Principales del área abarcada por los fotogramas de que se disponía de este punto de control no mostró que hubiera colonizaciones distintas de las blancas/grises, al menos de tamaño macroscópico. Aunque la banda correspondiente a la segunda Componente Principal era la más definitoria de estas colonizaciones (Figura 4.2.18), se hacía muy difícil la clasificación debido a que algunas zonas de la pared presentaban, como las manchas, una reflectividad muy alta. Por esta razón se decidió elaborar imágenes en falso color teniendo en cuenta toda la información presente en la imagen, es decir, utilizando las tres bandas generadas por el análisis de Componentes Principales (Figura 4.2.19).

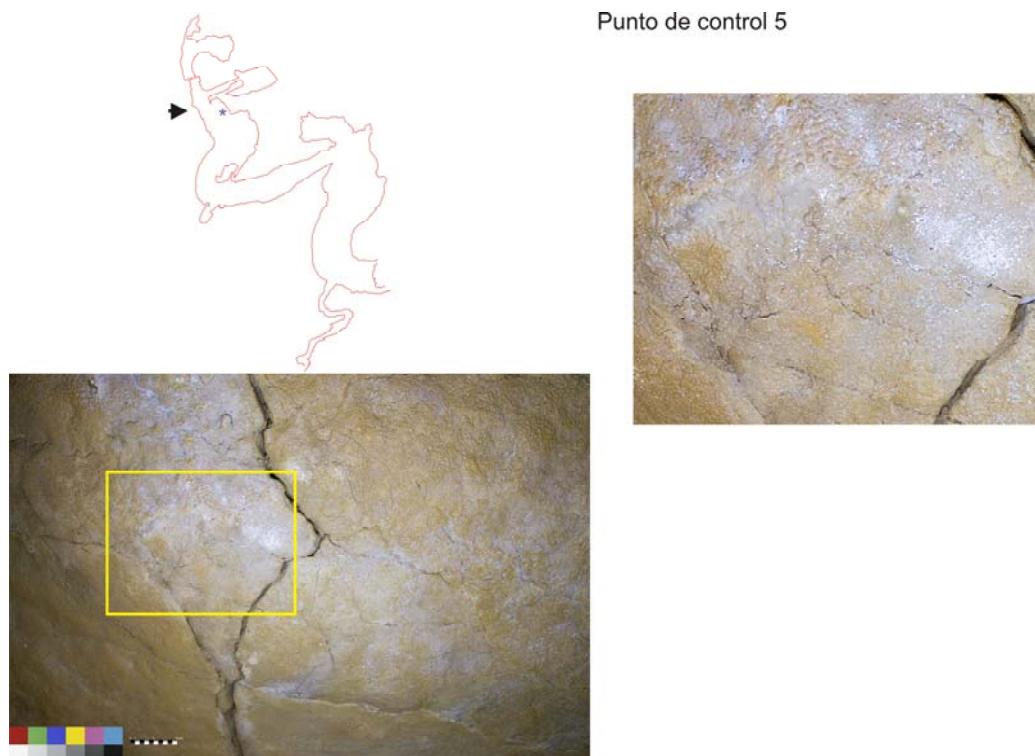


Figura 4.2.16. Situación del Punto de Control 5 y área seleccionada para el análisis de imagen.



Figura 4.2.17. Arriba, área abarcada por el fotograma de 2007 para el punto 5. Abajo, fotograma de 2009 fotorrestituído con respecto al de 2007.



Figura 4.2.18. Banda correspondiente a la segunda CP del fotograma de 2007 del punto de control 5. Las colonias blancas/grises se marcan como pequeños círculos claros, que, sin embargo coinciden en tonalidad con muchos otros puntos de la imagen.

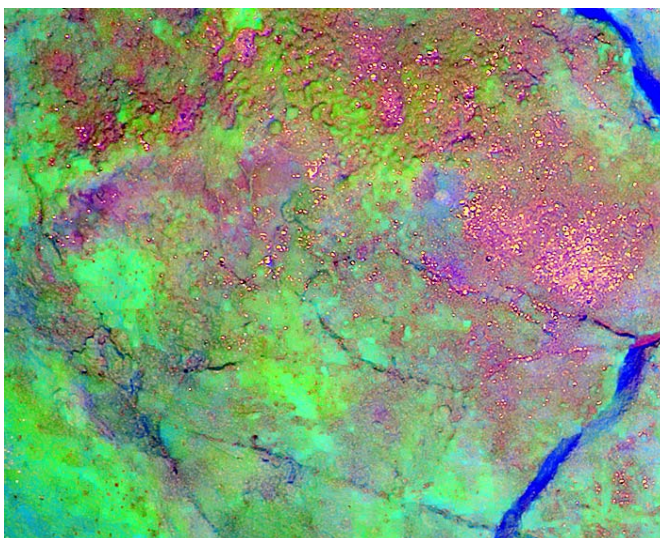


Figura 4.2.19. Imagen en falso color a partir de las bandas de Componentes Principales (CP1, CP2, CP3). Las manchas blancas/grises pueden apreciarse como píxeles de tonalidad amarillenta fácilmente distinguibles del resto de los píxeles de la imagen.

La Figura 4.2.20 muestra las áreas seleccionadas para la medición de la superficie ocupada por estas colonizaciones. Los resultados de la medición se detallan en la Tabla 4.2.6. La superficie total abarcada por la selección fue de 1006,05 cm².

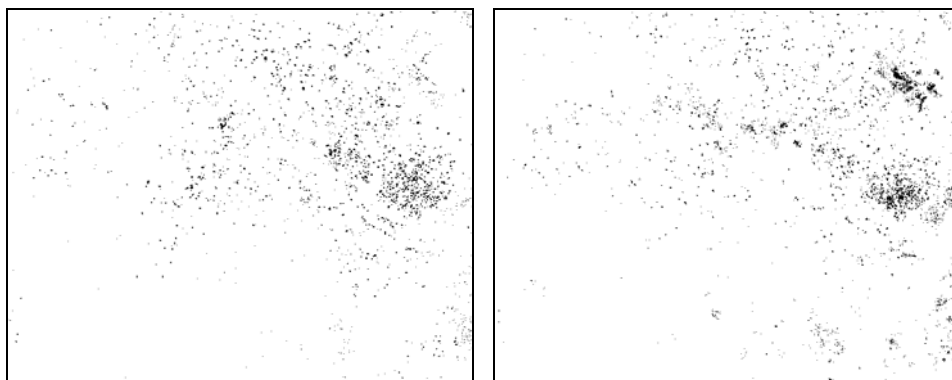


Figura 4.2.20. Píxeles seleccionados para su medición. Izquierda, fotograma de 2007. Derecha, fotograma de 2009.

Tabla 4.2.6. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 5.

fotograma	área ocupada (cm ²)	% área total
2007	14,065	1,40
2009	17,200	1,70

Como puede apreciarse, los resultados muestran bastante estabilidad en la extensión abarcada por estas manchas de origen microbiano a lo largo del tiempo, si bien, en los fotogramas se aprecia un aumento de intensidad, que debe correlacionarse con un aumento de la cobertura, en áreas determinadas del fotograma.

4.2.3.D. PUNTO DE CONTROL 6

El punto de control 6 (Figura 4.2.21) es uno de los que se eligieron en el techo de la sala de los Polícromos, en el que visualmente se apreciaba la afectación por manchas blancas/grises de las pinturas paleolíticas. La fotorrestitución digital de las imágenes de 2009 con respecto a las de 2007 se hizo aquí por el método de interpolación cuadrática de 10 términos, recalculando los niveles digitales por el método del *nearest neighbour*, utilizando para ello 10 puntos de control, que fue el procedimiento que mejor ajustó geométricamente las

imágenes. No obstante, a pesar de que las áreas centrales de la imagen aparecían geométricamente consistentes, las zonas externas de los fotogramas no lograban un ajuste de calidad. La selección efectuada debió hacerse, así, sobre estas zonas centrales, procurando abarcar la mayor superficie posible del motivo claviforme afectado (en torno al 50% de la superficie pigmentada), sin que se perdiera resolución geométrica. En esta selección, la banda correspondiente a la segunda Componente Principal era la que mejor destacaba las colonizaciones blancas/grises, por lo que fue esta la base utilizada para los cálculos. Las imágenes en falso color referidas a las Componentes Principales minoritarias potenciaban en demasía las manchas por lo que se descartaron para el estudio. Por su parte, las imágenes en falso color elaboradas con las tres componentes principales como bandas RGB (Figura 4.2.22), aunque destacaban muy bien las diferentes cubiertas presentes en la imagen, no añadían nada a la selección y cuantificación de las manchas blancas/grises.

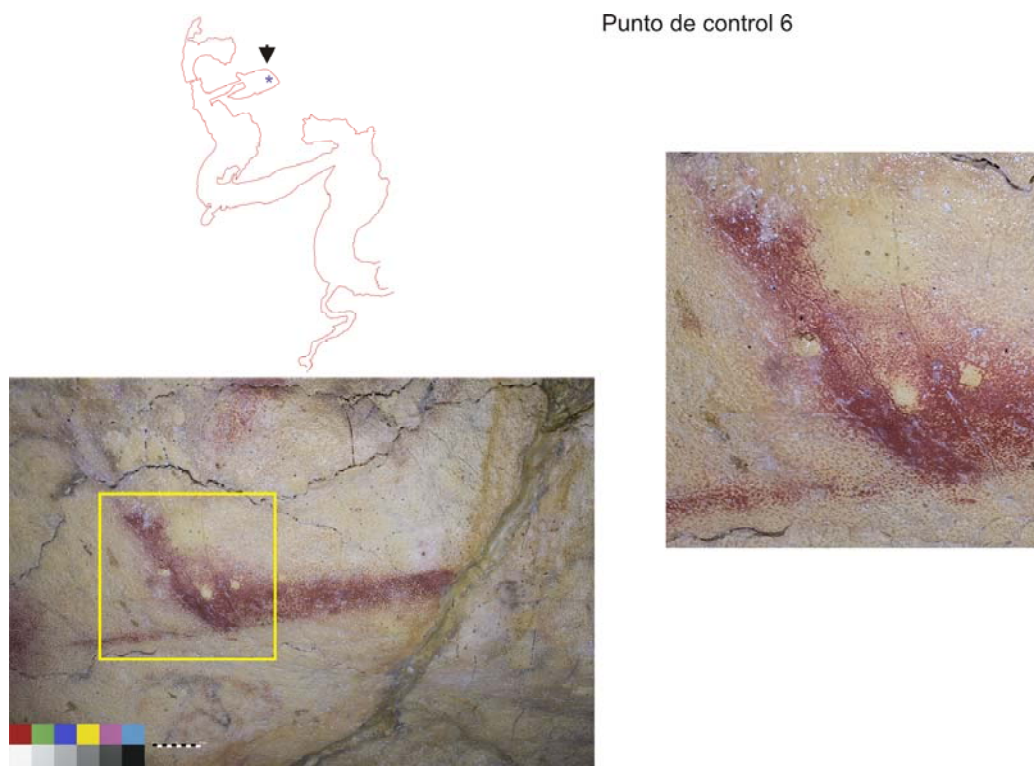


Figura 4.2.21. Situación del Punto de Control 6 y área seleccionada para el análisis de imagen.

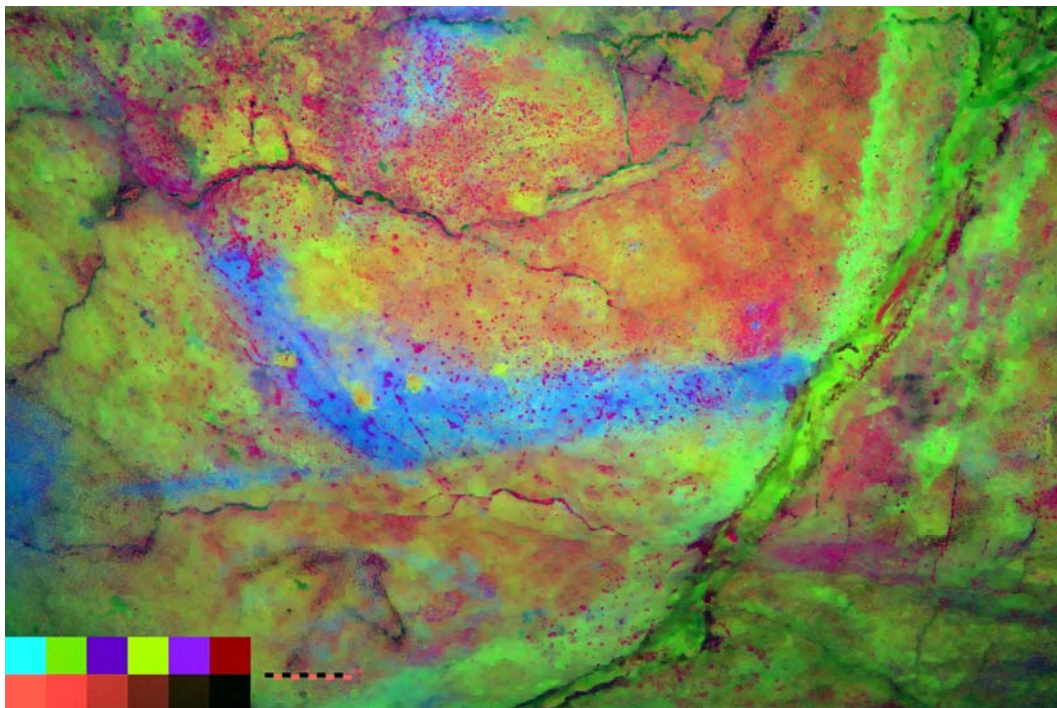


Figura 4.2.22. Imagen en falso color del área cubierta por un fotograma de 2007 del punto de control 6 elaborada a partir de las tres bandas obtenidas por análisis de Componentes Principales. Los tonos magenta se corresponden con las manchas blancas/grises.

La Figura 4.2.23 muestra la banda correspondiente a la segunda Componente Principal de los fotogramas de 2007 y 2009. La Figura 4.2.24 muestra los píxeles seleccionados para la cuantificación a partir de estas bandas.

La superficie total ocupada por la selección efectuada era de $1230,3 \text{ cm}^2$. Los resultados de la cuantificación de la superficie cubierta por estas manchas en 2007 y 2009 no describen un aumento apreciable de la superficie ocupada por estas colonizaciones a lo largo del periodo de estudio, por lo que podemos considerarlas estables. La Tabla 4.2.7 resume las medidas obtenidas mediante análisis de imagen.

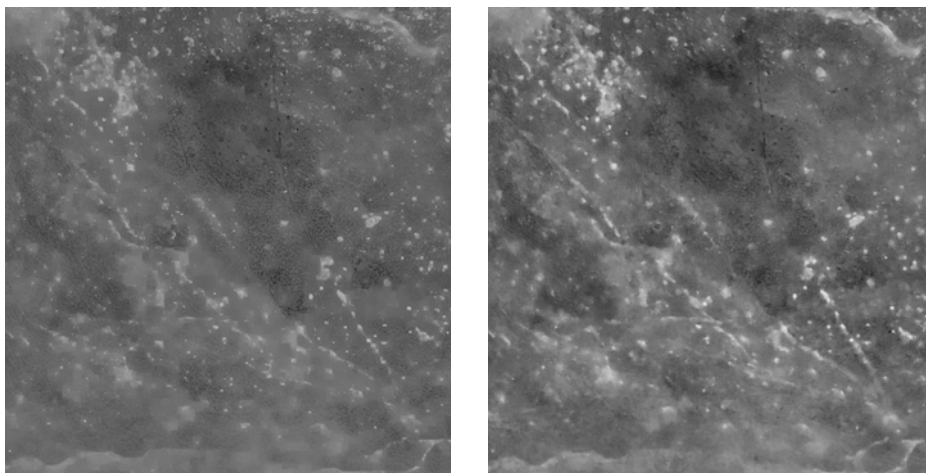


Figura 4.2.23. Izquierda, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2007. Derecha, banda correspondiente a la tercera CP del fotograma de 2009.

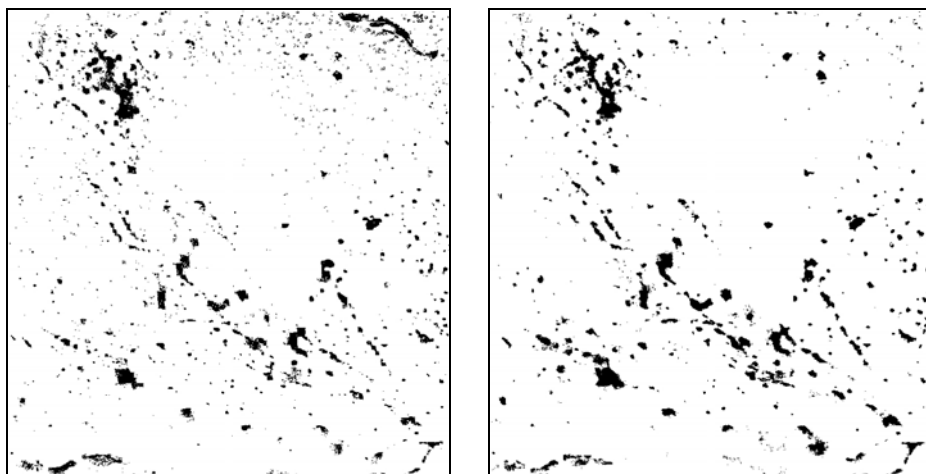


Figura 4.2.24. Píxeles seleccionados para su medición. Izquierda, fotograma de 2007. Derecha, fotograma de 2009.

Tabla 4.2.7. Superficie ocupada por las manchas blancas/grises en el área delimitada para el punto de control 6.

fotograma	área ocupada (cm ²)	% área total
2007	57,277	4,65
2009	59,947	4,87

4.2.4. UTILIZACIÓN DE IMÁGENES DE VISIBLE Y DE FLUORESCENCIA INDUCIDA POR ULTRAVIOLETA PARA LA DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS MANCHAS BLANCAS Y LAS GRISES

Para llevar a cabo esta tarea se seleccionaron dos fotogramas tomados en la última campaña (Julio 2009), uno de ellos con iluminación en el rango del visible y otro con iluminación ultravioleta, del punto de control número 2, situado en la pared de la sala de la Cocina. Si bien los datos correspondientes a este punto no se habían utilizado para el análisis general por considerarse que duplicaban los obtenidos en el punto de control 1 y por existir algunos problemas de orden geométrico para la elaboración de una serie temporal coherente, el hecho de que su emplazamiento se situara en una pared vertical, posibilitando acercar la cámara fotográfica y realizar fotos de detalle en una posición sensiblemente normal al punto de control, hizo aconsejable utilizar las imágenes que se poseían de este punto para afinar en la detección de las colonias blancas con respecto a las grises, que en el resto del capítulo que nos ocupa se han considerado como una categoría única. Las imágenes seleccionadas (Figuras 4.2.25 y 4.2.26) registraban manchas blancas y grises, además de algunas manchas amarillas, por lo que abarcaban prácticamente toda la variabilidad de las colonizaciones que hemos estado monitorizando mediante análisis de imagen.

Aunque las dos imágenes utilizadas fueron tomadas exactamente desde la misma posición y en un breve intervalo de tiempo, la superposición de los dos fotogramas no era perfecta debido a la diferente distancia focal a la que se forman las imágenes cuando se ilumina con fuentes de una u otra longitud de onda. Por ello, se hizo necesaria la adecuación geométrica de una imagen con respecto a otra. Esta adecuación geométrica se realizó mediante fotorrestitución digital de la imagen de fluorescencia inducida por UV con respecto a la de visible, utilizando un algoritmo de transformación cuadrática de 8 términos, con ocho puntos de control. La interpolación de los niveles digitales de los píxeles se realizó, como en los otros casos analizados, por el método del vecino más cercano (*nearest neighbour*). Una vez homogeneizadas geométricamente, las imágenes se superpusieron en Adobe Photoshop CS y se seleccionó un área de trabajo suficientemente representativa del conjunto de fotogramas, en las que se detectaba la mejor superposición, que era prácticamente perfecta. El área total abarcada por cada una de las selecciones efectuadas era de 89,03 cm². Los fotogramas resultantes, base del estudio que sigue, se exportaron, como en los otros casos, como archivos TIFF (Figuras 4.2.27 y 4.2.28).

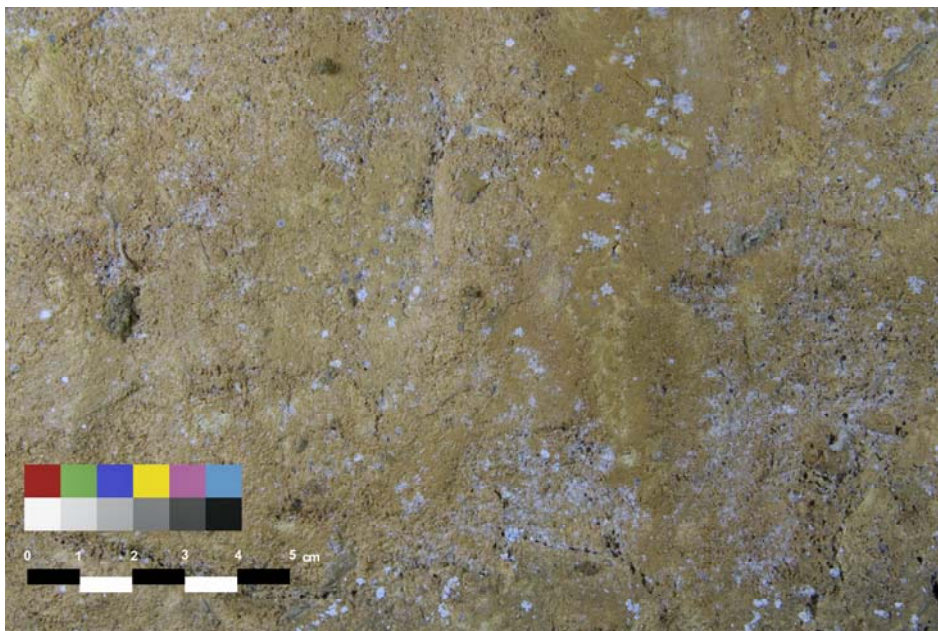


Figura 4.2.25. Imagen de detalle captada en el intervalo de longitudes de onda del visible de parte de la zona abarcada por el punto de control 2.

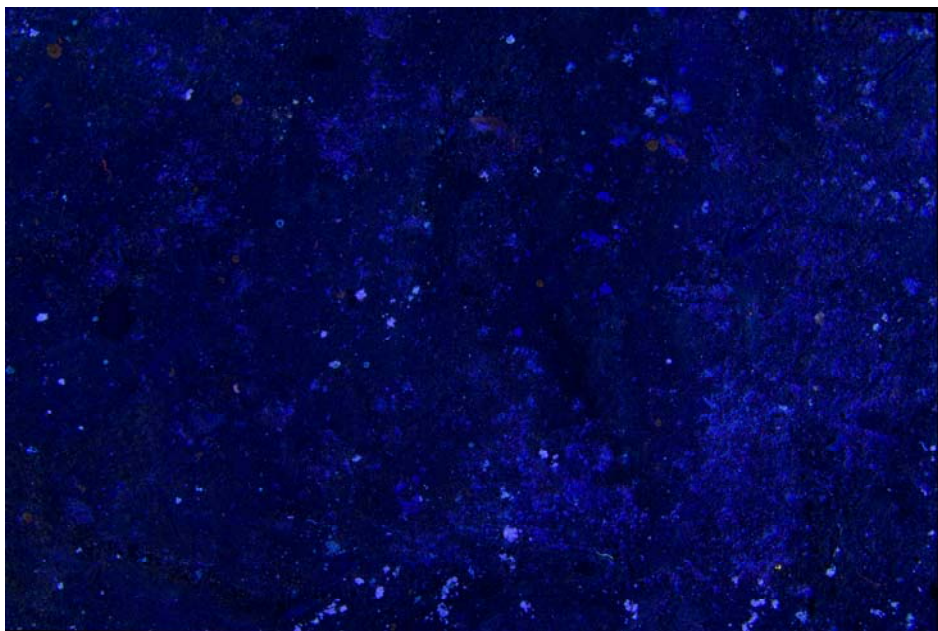


Figura 4.2.26. Imagen de fluorescencia inducida por UV de la misma zona reflejada en la Figura 4.2.25, fotorrestituída digitalmente.

Como primer paso, se procedió a la descorrelación de los niveles digitales de las imágenes, mediante análisis de Componentes Principales. La varianza explicada por cada una de las bandas resultantes se resume en la Tabla 4.2.8.

Tabla 4.2.8. Autovalores y varianza total explicada en cada banda producto de análisis de Componentes Principales

Fotograma	CP	Autovalor	Varianza explicada (%)
<i>visible</i>	1	1703,337	90,30516896
	2	180,066	9,546490538
	3	2,798	0,1483405
<i>ultravioleta</i>	1	877,3884	81,69347391
	2	157,8885	14,70096944
	3	38,7237	3,605556645



Figura 4.2.27. Selección utilizada en visible.

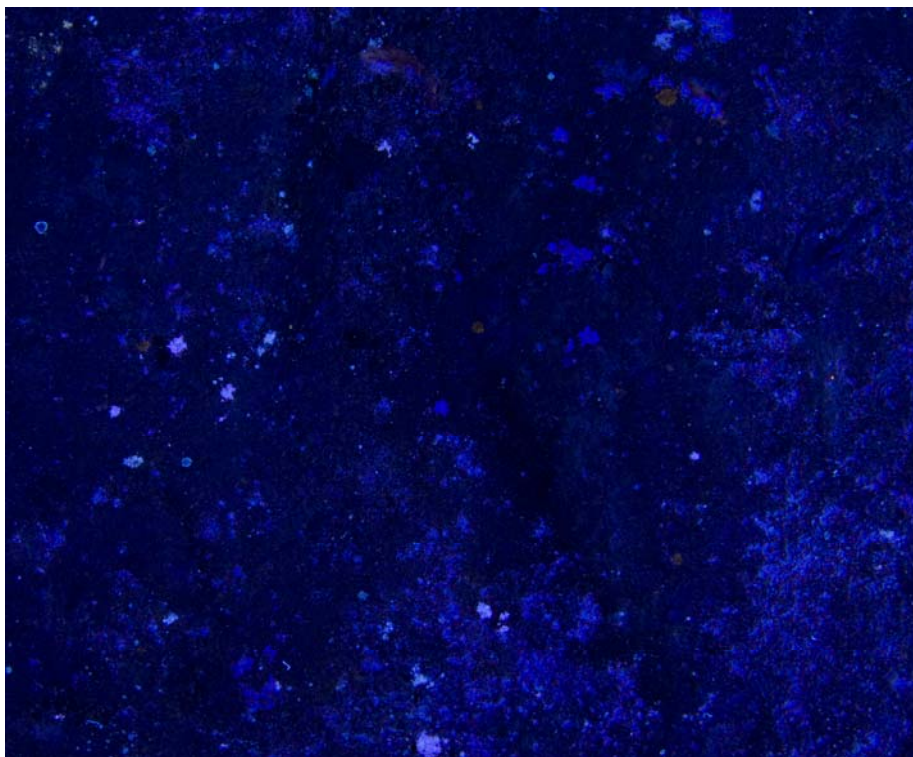


Figura 4.2.28. Imagen de Fluorescencia inducida por UV de la selección efectuada.

La banda correspondiente a la segunda CP de la imagen de visible (Figura 4.2.29) muestra las manchas blancas/grises, que se corresponden con el 9,5% de la información contenida en la imagen original tribanda (imagen RGB de visible).

La imagen correspondiente a la primera Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV (Figura 4.2.30) representa el 81,7% de la información total de la imagen base, y en ella puede apreciarse, contra el negro de fondo, las manchas blancas y las grises, diferenciadas por intensidad (blanco más intenso, manchas blancas; tonos grisáceos, manchas grises). La separación no es todo lo buena que debiese, ya que las dos categorías aparecen en la misma banda, pero representa una mejoría con respecto a los datos obtenidos mediante el análisis de Componentes Principales de la banda de visible.



Figura 4.2.29. Banda correspondiente a la segunda Componente Principal de la imagen de espectro visible utilizada.

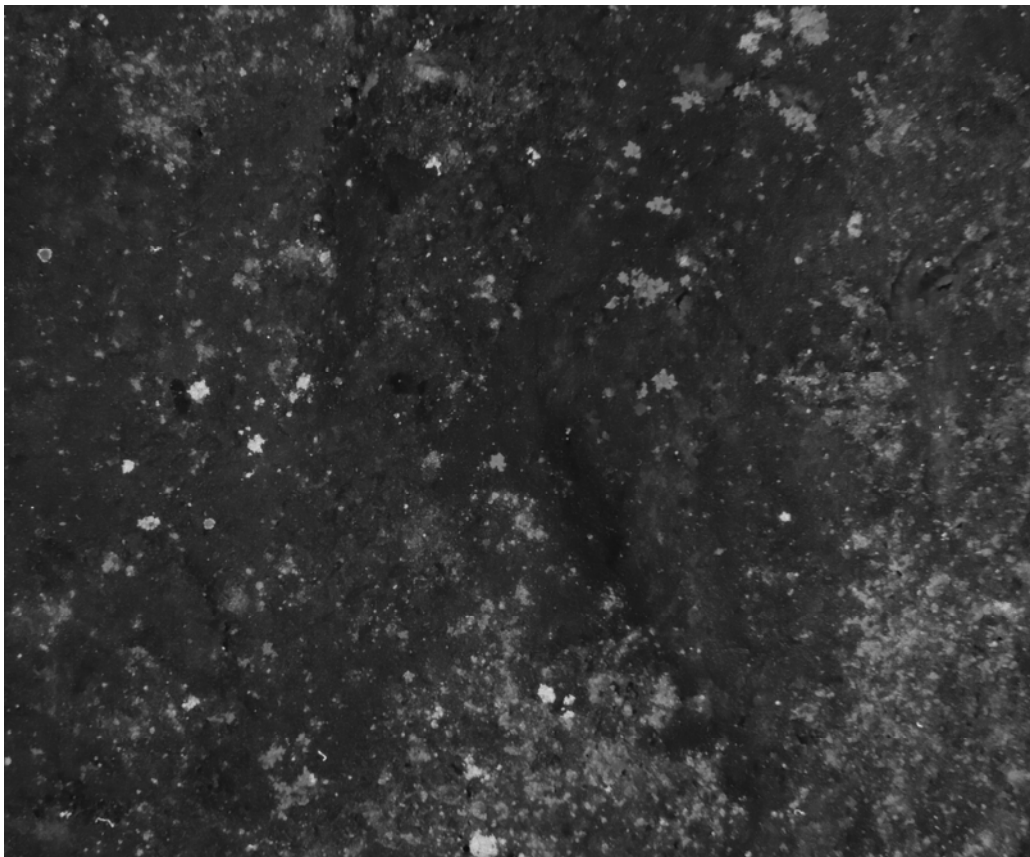


Figura 4.2.30. Imagen correspondiente a la primera Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV utilizada para este estudio.

Por su parte, la banda correspondiente a la segunda CP de la imagen de fluorescencia inducida por UV representa un 14,7% de la información contenida en la imagen original, y en ella se mapean con suficiente contraste para una binarización precisa las manchas blancas, en tonos blanquecinos que destacan suficientemente del fondo gris oscuro. No obstante, aparecen como elementos distorsionadores, píxeles que pertenecen a alguna de las manchas amarillas (señaladas con flechas en la Figura 4.2.31) que, al ser relativamente escasas en la imagen, se reflejan tanto en la segunda CP como, sobre todo, en la tercera. La tercera CP (Figura 4.2.32) refleja con suficiente fidelidad la extensión de las manchas amarillas. Las imágenes en falso color elaboradas a partir de las tres bandas obtenidas mediante Análisis de Componentes Principales muestran con suficiente resolución los tres tipos de manchas presentes en la imagen, como se muestra en la Figura 4.2.33. Es de resaltar

que las manchas que en esta figura aparecen en tonos blancos dan la misma respuesta espectral en la banda correspondiente a la tercera Componente Principal que las manchas amarillas, pero distinta respuesta en la Primera CP.

Una de las principales explicaciones para las diferencias en cubiertas ópticamente homogéneas cuando se trabaja con imágenes de visible, pero que ofrecen diferencias espectrales, agrupándose en consecuencia de manera diferente, o, en otras palabras, dando resultados distintos en las diferentes bandas, cuando se las descorrelaciona mediante análisis de Componentes Principales, es la diferencia en composición. Basándose en este principio se están llevando a cabo en los últimos tiempos prospecciones mineralógicas a partir de imágenes de satélite a las que se han aplicado diferentes versiones de esta técnica con un éxito apreciable (LOUGHLIN 1991, TAYLOR 2000, TANGESTANI y MOORE 2002, RAMADAN y ONSI 2003, RAMADAN *et alii* 2006, KARGI 2007, X. ZHANG *et alii* 2007, Y. ZHANG *et alii* 2007, MOORE *et alii* 2008, por ejemplo y sin afán de exhaustividad en esta relación). Así, la presencia de manchas que manifiestan un comportamiento espectral tan diverso debe radicar en cierta diferencia en su composición, que debe traducirse en cierta diferencia en las comunidades que las componen.

Estas diferencias espectrales tan sólo nos muestran que hay aún mucho que explorar desde el punto de vista microbiológico. Similar información traduce la presencia de manchas grises rodeadas de un contorno blanco, detectadas *de visu* (Figura 4.2.27) y fácilmente mediante análisis de imagen de fotogramas obtenidos mediante fluorescencia inducida por UV, como puede observarse en las Figuras 4.2.28, 4.2.30, 4.2.31, 4.2.32 y 4.2.33. Así, a pesar de que, como comentábamos en el apartado introductorio de este capítulo un trabajo reciente encuentra que las comunidades microbianas que componen cada uno de estos tipos de colonizaciones son diferentes (PORTILLO 2007), estas manchas híbridas desde el punto de vista de la reflectividad son relativamente comunes, hecho que puede estar indicándonos una realidad algo más diversa de lo que en principio se había estimado.



Figura 4.2.31. Imagen correspondiente a la segunda Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV utilizada para este estudio. Las flechas señalan manchas amarillas que aparecen en esta banda con valores similares a los de las manchas blancas.

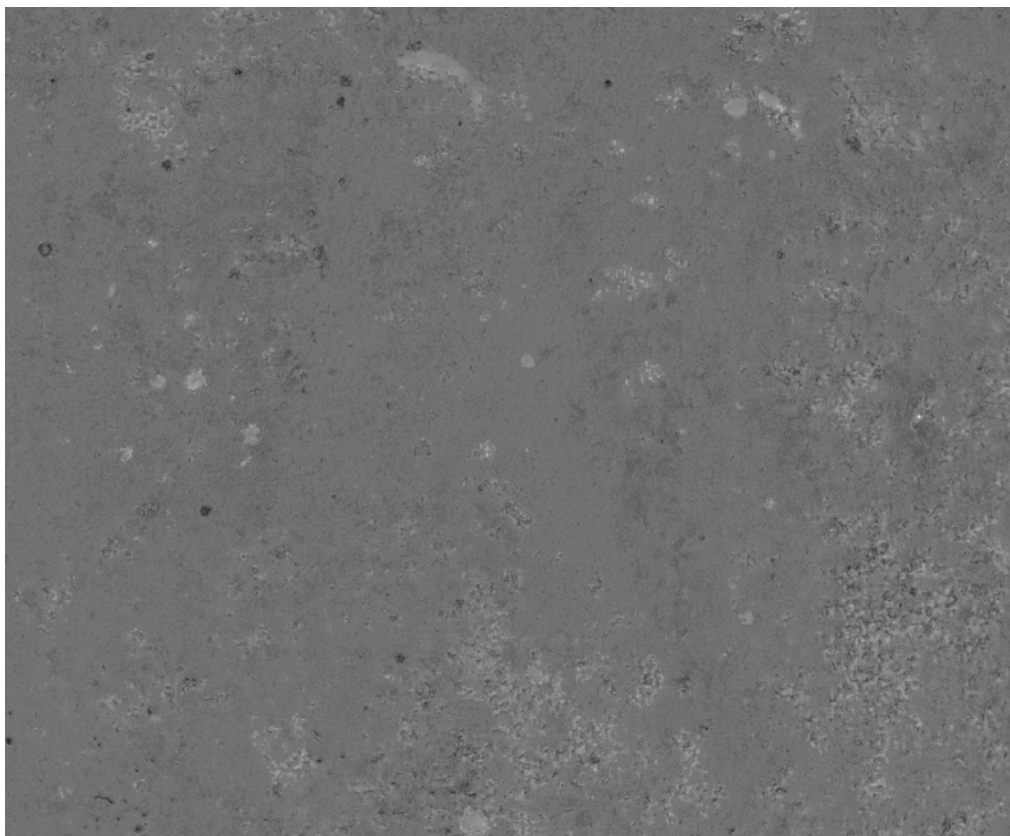


Figura 4.2.32. Imagen correspondiente a la tercera Componente Principal de la imagen de fluorescencia inducida por UV utilizada para este estudio.

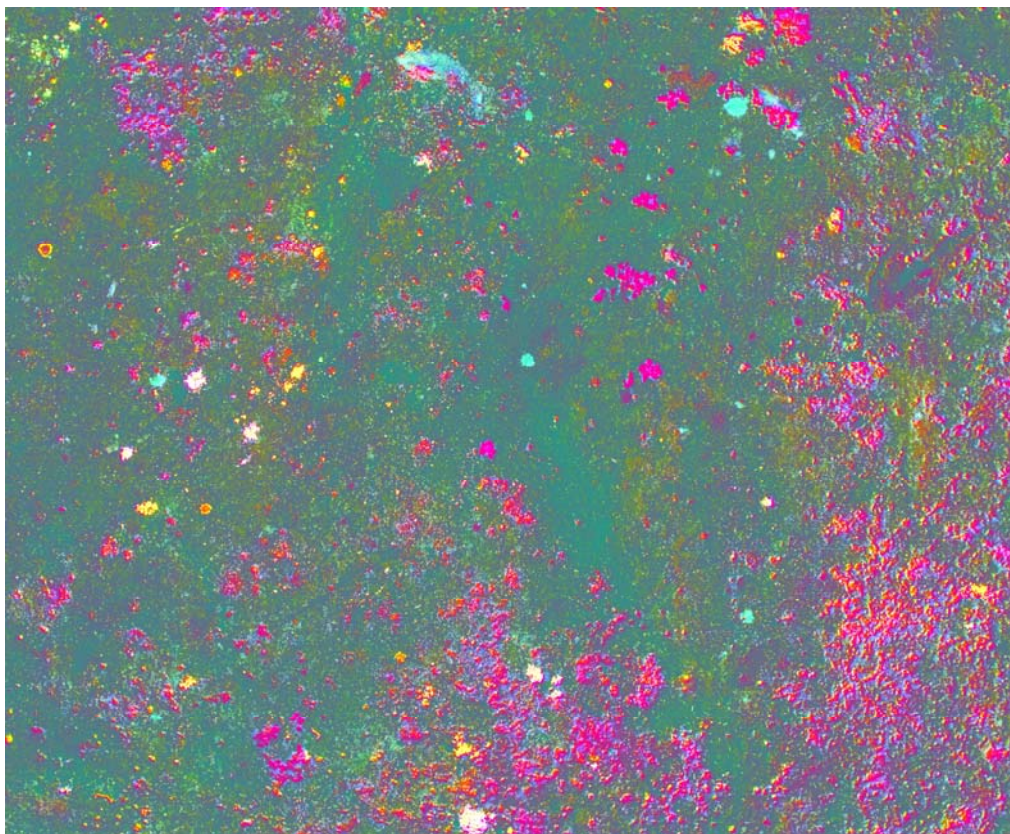


Figura 4.2.33. Imagen en falso color elaborada utilizando las tres bandas obtenidas por análisis de Componentes Principales. Las manchas grises se destacan en tonos magenta. Las manchas amarillas se destacan en tonos azul verdosos y las blancas en tonos amarillentos y en tonos blancos.

A la hora de resaltar sólo y exclusivamente las manchas blancas, para poder cuantificarlas, el procedimiento utilizado ha consistido en la aplicación del álgebra de imágenes. Así, los niveles digitales de la banda correspondiente a la primera CP se sumaron a los de la segunda CP para construir una nueva imagen de síntesis. De esta manera, se sumaban dos bandas en las que aparecían reflejadas las mismas manchas y además otra información que resultaba en cierto modo discordante. Las manchas blancas aparecían en las dos bandas originales (Figuras 4.2.30 y 4.2.31) con valores altos. Las amarillas, sin embargo sólo tenían valores altos en la segunda CP. La suma de estas dos imágenes acarrea la redefinición de los niveles de gris de toda la imagen, aclarando los píxeles relativos a las manchas blancas y oscureciendo los que no

pertenecen a esta categoría. El resultado obtenido, así, permite su extracción y cuantificación (Figura 4.2.34).

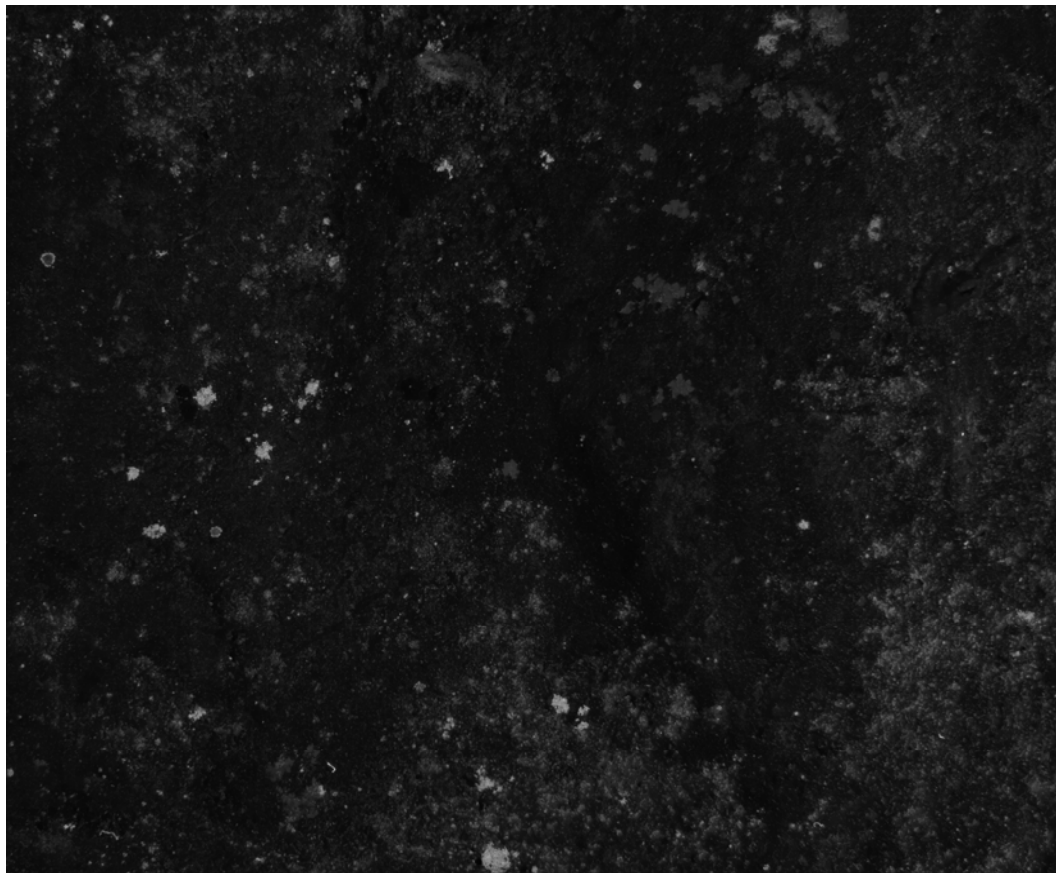


Figura 4.2.34. Suma de CP1UV y CP2UV. En tonos blancos: manchas blancas.

Los valores numéricos que se relacionan en la Tabla 4.2.9 y que describen las superficies ocupadas por manchas blancas, grises y la categoría artificial blancas/grises, se obtuvieron, por una parte de la aplicación de un algoritmo de clasificación supervisada sencilla sobre la banda correspondiente a la segunda CP de la imagen de visible, y por otra, mediante el mismo tipo de clasificación sobre la imagen resultante de sumar los niveles digitales de las dos primeras CP de la imagen de fluorescencia inducida por UV.

Tabla 4.2.9. Superficie ocupada por las distintas colonizaciones en el área de estudio

Colonizaciones	Área (cm ²)	Porcentaje del área total
[1] Manchas blancas/grises, (CP2 de visible)	4,97	5,58
[2] Manchas blancas (CP1UV + CP2UV)	0,86	0.97
Manchas grises ([1] – [2])	4,11	4,62

4.2.5. CONCLUSIONES

Antes de establecer unas conclusiones para el trabajo de monitorización mediante análisis de imagen que se ha desarrollado en la cueva de Altamira, es necesario aclarar posibles fuentes de error en los datos, que deben hacer que tomemos los resultados numéricos como meramente orientativos, pero en ningún caso definitivos. Las posibles fuentes de error detectadas son:

1. El que puede generarse al considerar una proyección cónica (como son los fotogramas originales) como una ortofotografía, en la que pueden realizarse medidas en todas las direcciones. En buena medida, esta fuente de error se anula al considerar las imágenes de manera relativa y homogeneizar geométricamente unas fotos con respecto a otras.
2. Considerar las superficies que se miden como superficies planas. Obviar el volumen, a veces muy apreciable, introduce fuentes de error ya que las colonizaciones se aprecian en perspectiva aunque se miden como planas. Esto tiene como efecto la minusvaloración o el incremento de la medida de las manchas que no estén en posición normal a la cámara.
3. Los errores generados por la diferente resolución (profundidad de píxeles) de las imágenes. Esto significa que el tamaño de píxel de las imágenes con menos píxeles es mayor, por lo que existe mayor posibilidad de que los píxeles adopten valores híbridos entre dos cubiertas contiguas, que en la imagen con mayor número de píxeles (y por tanto, que reflejan una superficie menor en cada píxel) codificarán el valor de una u otra cubierta.
4. La adaptación geométrica de unas imágenes con respecto a otras produce la compresión, y por tanto reinterpretación (en este trabajo, a partir de la media aritmética de los valores de los píxeles más próximos), de los valores de algunos píxeles, que, en el caso de los píxeles en situación fronteriza pueden asumir valores erróneos.

5. Posibles errores humanos en la asignación de intervalos a las distintas cubiertas a la hora de clasificar (binarizar) para proceder a la cuantificación.

6. Los resultados numéricos se refieren a zonas pequeñas que no tienen por qué ser estadísticamente representativas de la totalidad de las zonas de estudio.

Teniendo en cuenta estas posibles fuentes de error, las conclusiones que se extraen de las mediciones efectuadas pueden desglosarse siguiendo los distintos puntos de control estudiados:

Punto 1: Se verifica un crecimiento importante de la superficie abarcada por las manchas amarillas entre 2007 y 2009, a una razón de entre 1,5 y 1,9 veces. Las manchas blancas/grises, por el contrario, reducen apreciablemente la extensión que ocupan.

Punto 3: Las colonizaciones amarillas arrojan valores de superficie cubierta similares para los dos periodos, por lo que podemos considerarlas estabilizadas. Las manchas blancas/grises registran un ligero incremento en este período de tiempo.

Punto 5: Sólo están presentes colonizaciones blancas/grises, que en el intervalo de estudio permanecen bastante estables, si bien los datos numéricos registran un leve incremento en la superficie colonizada.

Punto 6: Sólo con manchas blancas/grises, estabilizadas en el periodo de estudio.

Con respecto a las colonizaciones blancas/grises y amarillas, las mayores fluctuaciones de valores se dan en las zonas más cercanas a la entrada, estabilizándose los valores en las zonas más interiores. Estos resultados resultan congruentes con las características termohigrométricas de esta zona de la cueva, en la que la cercanía a la entrada permite grados de oscilación mayores que en las zonas interiores.

La utilización de imágenes de fluorescencia inducida por ultravioleta e imágenes de visible han permitido diferenciar entre las manchas blancas y la grises, permitiendo apreciar que las manchas grises son mayoritarias con respecto a las blancas en el punto de control 2. El seguimiento de estos puntos

de control en futuras campañas de fotografía ultravioleta podrá aportar información relevante para poder individualizar el comportamiento de las colonizaciones blancas y grises y elaborar un modelo más completo de la colonización de la cueva.

4.3

Mejoras en la visualización de las representaciones rupestres del abrigo Muriecho L (Colungo, Huesca)

4.3.1. INTRODUCCIÓN

El abrigo de Muriecho L se abre en la margen derecha de las formaciones calizas que flanquean el lecho del barranco de Fornocal, subsidiario del río Vero, en el término municipal de Colungo (Huesca) (Figura 4.3.1). Descubierta en la década de los ochenta del siglo XX por el equipo del Museo de Huesca liderado por Vicente Baldellou, sus calcos no fueron publicados hasta finales de siglo (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000), aunque con anterioridad habían visto la luz

publicaciones parciales de sus paneles (BALDELLOU MARTÍNEZ 1982, 1984, 1985). Recibe este nombre por el ser el único de los abrigos situados entre las partidas de Bárcabo y Muriecho con decoración levantina. El resto de los abrigos de su entorno (Muriecho E1 y Muriecho E2) presentan exclusivamente manifestaciones esquemáticas. Orientado casi totalmente al S, se trata de una cavidad de 5,60 m de profundidad máxima y una anchura máxima de 17 m (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000) (Figura 4.3.2).

Como se ha comentado, las representaciones parietales de este abrigo son exclusivamente de estilo levantino, distribuyéndose en cuatro paneles situados en la zona más profunda de la oquedad. Prácticamente toda la zona interior Oeste del abrigo aparece oscurecida, según citan sus descubridores, por “antiguas emanaciones de humo, producidas por pastores” (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 44). Estudios microbiológicos recientes (PORTILLO *et alii* 2008 a, 2009) muestran que, en realidad, el lateral Oeste del abrigo presenta una marcada colonización microbiana, en la que los componentes más importantes de la comunidad son las cianobacterias (géneros *Nostoc*, *Anabaena*, *Microcoleus*), representadas por el 40% del ADN y el 77,8% del ARN analizado, además de bacterias fotosintéticas pertenecientes a la división Chloroflexi (generos *Chloroflexus* y *Roseiflexus*). El componente heterótrofo de esta comunidad microbiana está integrado por actinobacterias pertenecientes al género *Pseudonocardia* y Alfa Proteobacterias, en su mayoría pertenecientes al género *Mesorhizobium* (PORTILLO *et alii* 2009).

Esta colonización fototrófica se manifiesta macroscópicamente, con tiempo seco, como una capa de color gris oscuro que cubre totalmente el color rojizo de la caliza encajante, poniendo de manifiesto los caminos que sigue la circulación del agua de arroyada en periodos de lluvia. Además de esta marcada biopelícula superficial, pudo apreciarse a simple vista que la roca está colonizada de manera endolítica por microorganismos fototróficos (Figura 4.3.3). Entre ellos, las cianobacterias de los géneros *Chroococcidiopsis* (Pleurocapsales), *Phormidium* (Oscillatoriales) y *Cylindrospermum* (Nostocales) representaban el 40% del ADN total. Entre los

microorganismos heterótrofos, presentaban actividad metabólica Bacteroidetes de los géneros *Himenobacter* y *Chitinophaga*, así como miembros de la División Candidata WYO y actinobacterias relacionadas con el género *Rubrobacter* (PORTILLO *et alii* 2009).

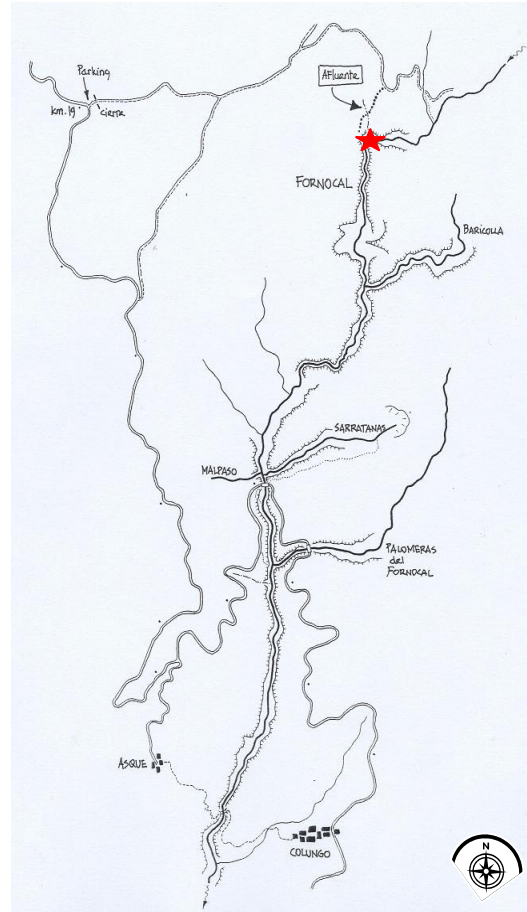


Figura 4.3.1. Situación del abrigo Muriecho L en el Barranco de Fornocal (Colungo, Huesca). Elaboración propia.

Como ya indicamos en el Capítulo 2 de este trabajo, el nicho ecológico litobiótico constituye una extendida estrategia adaptativa seguida por muchos organismos, puesto que les permite atenuar la influencia climática externa. En el caso de Muriecho L, con un clima

clasificado como Mediterráneo continentalizado, la climatología es muy extrema, con inviernos fríos y veranos calurosos y secos, que presenta una amplitud térmica anual que abarca en verano temperaturas máximas superiores a los 30°C, que contrastan con la abundancia de heladas en los meses invernales. Sin menospreciar la influencia de la orografía en la configuración de microclimas diferenciados en muchos barrancos de la Sierra Guara, los datos climatológicos generales para la zona muestran que la media anual de temperaturas está en torno a los 12 grados centígrados. En invierno 7,5°C y en Verano 18°C, con temperaturas mínimas absolutas de -14°C (Belsué) en el mes de febrero y heladas esporádicas en mayo. Para la Hoya, estos valores medios se sitúan en 23°C en verano y 4,6°C en invierno. En verano pueden alcanzarse los 40 grados y son frecuentes los 35°C; mientras que en invierno, la temperatura no sube de los 10°C, y permanece en 0°C durante días. La precipitación total se sitúa en torno a los 500 mm anuales, que se distribuyen en 60-70 días al año (LÓPEZ MARTÍN *et alii* 2007).

Una de las características de los climas mediterráneos es la intensidad que pueden alcanzar las precipitaciones en determinados momentos, especialmente si la orografía refuerza la inestabilidad de ciertas situaciones atmosféricas. Para la estación meteorológica de Arcusa, cercana al yacimiento, se han registrado en series históricas intensidades medias de precipitación en 24 horas que están en torno a los 14 mm anuales, con los valores más altos registrados en los meses otoñales (septiembre, octubre y noviembre) (DEL VALLE MELENDO 1997). Estos datos permiten la estimación de las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno que se muestra en la Tabla 4.3.1.

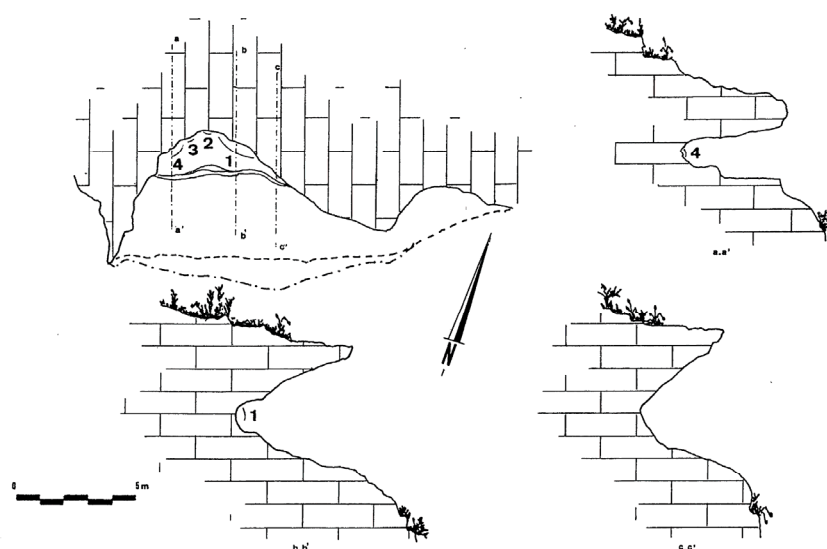


Figura 4.3.2. Planta y alzados de Muriecho L, con la localización de los paneles pintados. Fuente: BALDELLOU MARTÍNEZ et alii (2000).

Tabla 4.3.1. Precipitaciones máximas en 24 horas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años para la estación meteorológica de Arcusa (Huesca). Fuente: DEL VALLE MELENDO (1997).

Mes	Período de retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
Precipitación máxima en 24 horas (mm)						
E	16,3	41,3	57,8	78,7	94,2	109,6
F	27,2	45,1	56,9	71,9	83,0	94,0
Mz	25,9	43,0	54,3	68,6	79,2	89,8
Ab	33,3	56,0	71,1	90,1	104,3	118,3
My	39,1	61,0	75,4	93,7	107,3	120,8
Jn	28,4	53,8	70,5	91,7	107,4	123,0
Jl	15,0	28,8	37,9	49,4	58,0	66,5
Ag	33,7	65,2	86,0	112,3	131,8	151,1
S	29,7	61,8	83,0	109,9	129,8	149,5
O	34,5	75,3	102,3	136,4	161,7	186,8
N	30,4	62,5	83,7	110,6	130,5	150,2
D	28,1	52,2	68,1	88,3	103,3	118,1

Como vemos, se trata de un clima que favorece el desarrollo de organismos capaces de ofrecer resistencia a los periodos de desecación y con capacidad para un crecimiento explosivo que les permita aprovechar los días de precipitación que, como hemos visto, pueden llegar a descargar cantidades importantes de agua en cortos periodos de tiempo.



Figura 4.3.3. Colonización endolítica en Muriecho L. Fotografía del autor.

Las representaciones levantinas del abrigo Muriecho L presentaban una visibilidad diferencial bastante importante. Junto a áreas que se veían aceptablemente bien, existían otras en las que los calcos publicados (BALDELLOU *et alii* 2000) desarrollaban figuras que no se podían apreciar bien a simple vista, ya que el tono general rojizo de la caliza base (rica en óxidos de hierro) hacía confusa la observación de los motivos, delineados asimismo en rojo.

La estrategia de análisis de imagen desarrollada en este trabajo tuvo, en principio, carácter auxiliar. Su objetivo principal era detectar sin lugar a dudas lugares cercanos a los paneles en los que pudieran extraerse muestras para la identificación por métodos moleculares de los microorganismos presentes sin que esta toma de muestras representase afección alguna para las pinturas. Un segundo objetivo, secundario en la intervención, consistía en la mejora de la visualización de las pinturas, sobre todo del Panel 1, como modo de evaluar la fidelidad del calco publicado (Figura 4.3.4), toda vez que presenta un interés especial puesto que, según sus descubridores, describe una escena de caza de carácter inusual en el Arte Levantino, en la que un personaje atrapa un ciervo con sus manos ante la presencia de otros personajes que asisten de alguna manera a esta actividad (BALDELLOU MARTÍNEZ 1985: 118), escena discutida por ALONSO y GRIMAL (1994: 23) y vuelta a defender con una sólida batería de argumentos en el trabajo que realiza la publicación definitiva de los calcos (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 46-49).

Por ello, a partir de varias fotografías de los paneles se realizaron varias operaciones de análisis de imagen para intentar, por una parte, resaltar los motivos figurados con respecto al soporte, y por otra, delimitar la extensión del Panel 1, zona del abrigo en la que parecía más oportuna la toma de muestras puesto que se observaron tanto comunidades fototróficas aparentemente endolíticas como una extensa zona cubierta por lo que parecía un biofilm (Figura 4.3.5). En este capítulo trataremos fundamentalmente sobre las operaciones de análisis encaminadas a la mejora en la visualización de los motivos.



Figura 4.3.4. Calco íntegro del Panel 1 de Muriecho L. Fuente: BALDELLOU MARTÍNEZ et alii (2000).

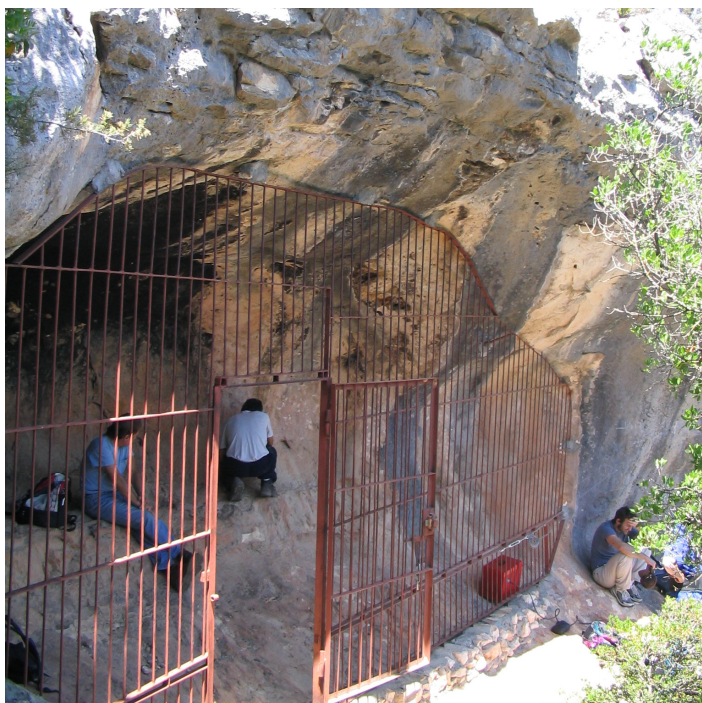


Figura 4.3.5. Toma de muestras en Muriecho L. Fotografía del autor.

4.3.2. METODOLOGÍA

Para contar con una referencia topográfica del área ocupada, según los calcos, por el Panel 1, se elaboró un mosaico con las fotografías digitales tomadas con dos cámaras digitales diferentes: una Canon PowerShot A70, con la que se obtuvieron imágenes de 2048 x 1536 píxeles con una resolución vertical y horizontal de 180 dpi; y una Nikon E5200, que permitió obtener imágenes digitales de 2592 x 1944 píxeles, con resolución vertical y horizontal de 300 dpi. El mosaico se realizó adaptando la geometría interna de las imágenes a una de ellas que consideramos como referencia por haberse realizado en posición sensiblemente normal a la zona central del panel y abarcar gran parte del mismo. Las correcciones geométricas se llevaron a cabo aplicando un algoritmo de transformación cúbica a partir de ocho puntos de control identificados en las imágenes, interpolando los valores del píxel mediante el método del *nearest neighbour* ya comentado con anterioridad. El mosaico nos sirvió de marco de referencia para situar las diferentes instantáneas y facilitar el escalado posterior de las mismas (Figura 4.3.6). Si bien existían algunas distorsiones geométricas en el mosaico en algunas zonas de engarce y, sobre todo, en las áreas más alejadas de las zonas de solapamiento entre los fotogramas, ofrecía un acercamiento global lo suficientemente bueno del panel para el trabajo con el resto de los fotogramas.

La primera opción metodológica adoptada consistió en la ecualización de las imágenes digitales obtenidas para incrementar el contraste. Esta posibilidad se descartó rápidamente puesto que no permitía una adecuada separación de pintura y soporte por la alta correlación visual que los fotogramas presentaban en las distintas bandas de visible. Por ello, se decidió trabajar siguiendo dos caminos: por una parte aplicar algoritmos de clasificación no supervisada a las imágenes de visible originales, como manera de no mediatizar los resultados finales alcanzados; por otra, utilizar el análisis de Componentes Principales como base de ulteriores tratamientos: por un lado, la elaboración de imágenes en falso color a partir de las nuevas bandas obtenidas mediante este proceso analítico. Los resultados experimentales obtenidos con este tipo de imágenes han

demostrado ser equivalentes a una buena clasificación no supervisada de la imagen (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2008 a).

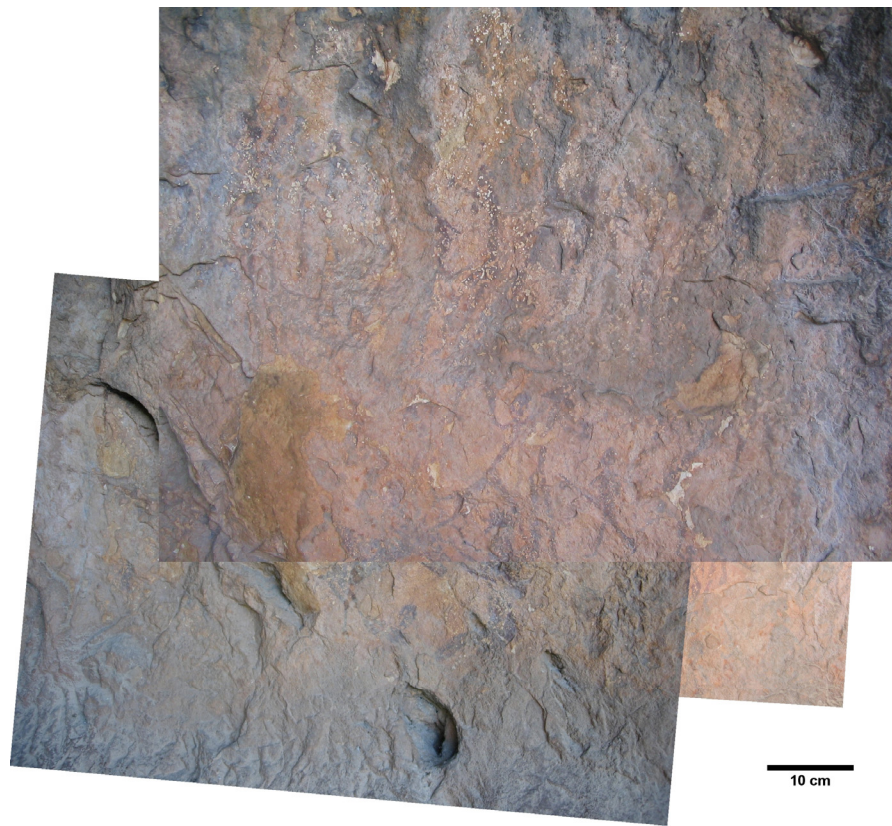


Figura 4.3.6. Mosaico del Panel 1 de Muriecho L.

Por otra parte, se decidió probar con la aplicación de algoritmos de clasificación no supervisada a cubos de imagen previamente descorrelacionados mediante análisis de Componentes Principales, una alternativa metodológica plenamente válida al abarcar el conjunto de las bandas obtenidas mediante este procedimiento matemático el 100% de la información contenida en las imágenes originales, si bien distribuida de diferente manera, lo que las faculta para constituir la base de clasificaciones digitales (CHUVIECO SALINERO 2002, VICENT GARCÍA *et alii* 1996). La elección de un enfoque basado en la clasificación digital de las imágenes disponibles por métodos no

supervisados vino condicionada por los objetivos previamente marcados, esto es, detectar la existencia o no de pintura de manera automática en las paredes del abrigo. Una clasificación por métodos supervisados hubiera necesitado de un enfoque fotointerpretativo previo, imposible de efectuar a priori por la escasa visibilidad de gran parte de las figuras. Este tipo de enfoque, como veremos, se aplicó *a posteriori*, una vez que las figuras pudieron apreciarse con suficiente nitidez. Adicionalmente, se realizaron algunas operaciones algebraicas con distintas imágenes obtenidas, fundamentalmente sustracción y adición de niveles digitales de unas bandas con respecto a otras para facilitar la visualización.

Las correcciones geométricas y el mosaicado, así como el cálculo de las Componentes Principales de las imágenes utilizando el método de la matriz de covarianzas, la composición de imágenes en falso color y la aplicación de algoritmos de clasificación del tipo *k-means* se llevó a cabo de nuevo mediante el paquete *HyperCube*. Operaciones adicionales con las imágenes se han efectuado utilizando el *software ImageJ*, de los cuales se ha dado cumplida referencia en capítulos anteriores de este trabajo.

4.3.3. RESULTADOS

El primer enfoque enumerado en el apartado anterior, la clasificación de cubos de imagen elaborados con las bandas originales en el espacio de color RGB, deparó resultados poco satisfactorios, tanto sobre imágenes generales como sobre imágenes de detalle, debido a la gran cantidad de píxeles de borde que aparecían en la imagen. La Figura 4.3.7 muestra el resultado de la clasificación de una de las fotos generales por métodos no supervisados. Como puede apreciarse, proliferan los píxeles de borde, lo que se traduce en que gran cantidad de píxeles aparecen mal clasificados, distorsionándose los resultados y no consiguiéndose el objetivo de destacar las áreas pigmentadas con respecto a la roca soporte. Análogos resultados se obtuvieron con fotografías de detalle. En las Figuras 4.3.8 y 4.3.9 se muestran los resultados obtenidos al clasificar de manera no supervisada una imagen de detalle del Panel 1. La Figura 4.3.8 refleja el resultado de aplicar un algoritmo del tipo *k-means*, con 5 clases y

20 iteraciones estableciendo los centroides en función del coeficiente de correlación entre los valores del píxel en cada una de las bandas y la Figura 4.3.9 enseña los resultados de una clasificación del mismo tipo, pero calculando los centroides en función de la distancia euclídea entre los valores de los píxeles.

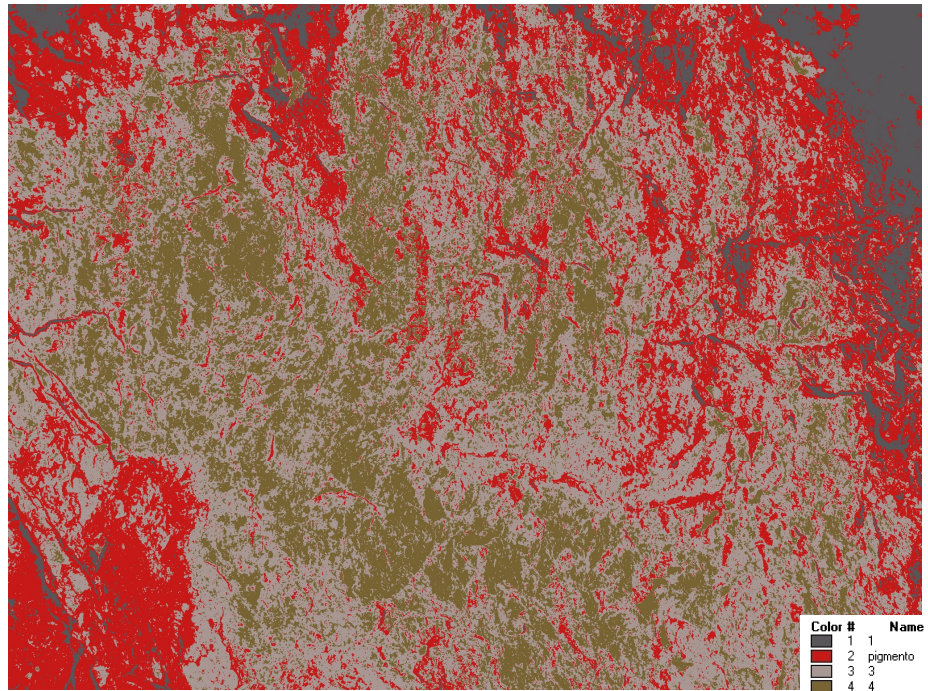


Figura 4.3.7. Imagen clasificada mediante un algoritmo k-means con 4 clases y 20 iteraciones. Iteración 20. Las clases 2 y 4 definen la mayor parte de los píxeles que corresponden con pigmento aunque es notoria la abundancia de píxeles mal clasificados.

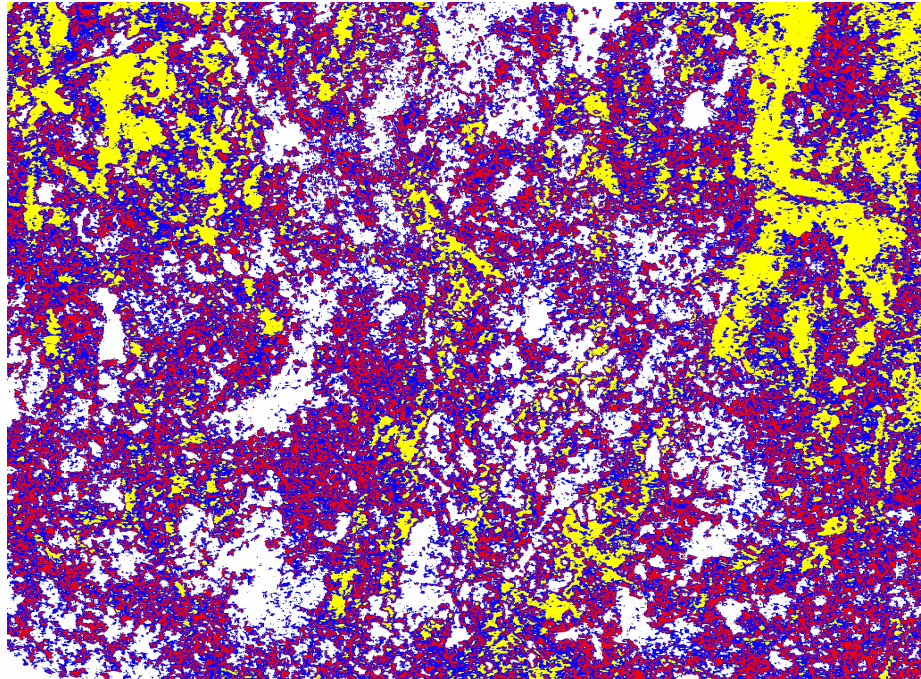


Figura 4.3.8. Clasificación no supervisada de una imagen de detalle de la zona centro-superior del Panel 1. Los píxeles amarillos definen la clase "Pigmento" de manera parcial.

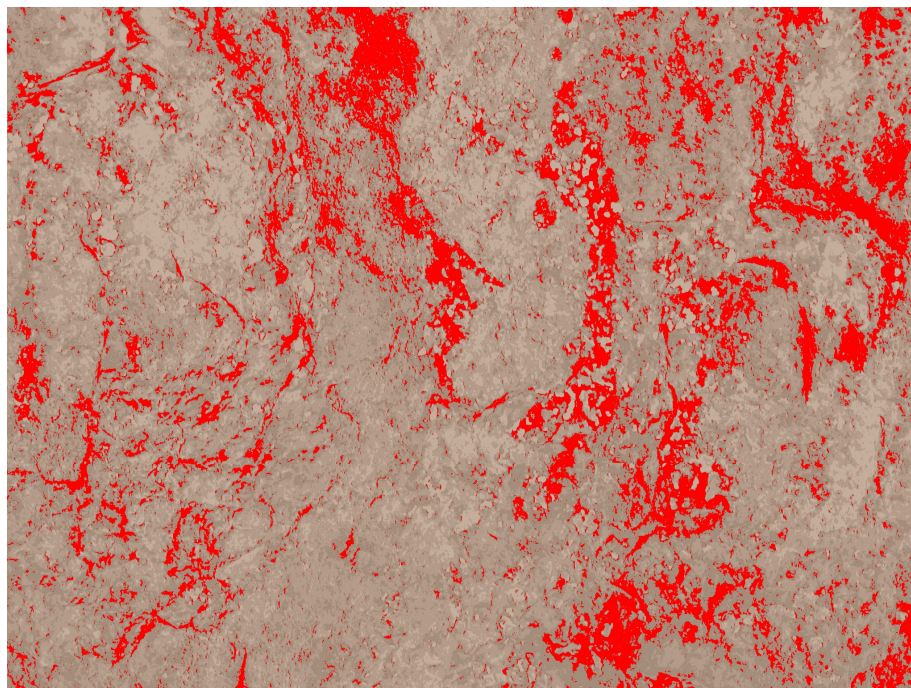


Figura 4.3.9. Imagen clasificada por métodos no supervisados del mismo fotograma de la Figura anterior. Los píxeles rojos definen, de nuevo, la clase "Pigmento" mejorando la visión de detalle de algunas figuras pero con gran cantidad de píxeles mal clasificados.

La dificultad de elaborar una clasificación no supervisada, que abarcara con suficiente resolución la variabilidad de las diferentes clases que se incluyen en la categoría "Pigmento" y que minimizara la aparición de píxeles de borde, nos encaminó a la descorrelación de imágenes mediante análisis de Componentes Principales. Las diferentes imágenes utilizadas en el análisis presentaban valores muy correlacionados entre sí en las diferentes bandas de visible, como muestra la gran cantidad de información (porcentaje de varianza) que recoge la primera Componente Principal de las imágenes utilizadas (Tabla 4.3.2). Como puede comprobarse, las imágenes que hemos calificado de generales (aquellas que recogen gran parte del panel) presentan valores de varianza reflejada en la primera CP que se sitúan en torno al 90%. El 10% restante de información

prácticamente se resume en la segunda CP, un porcentaje muy alto de información en la banda que muestra la información relativa a la presencia de pigmento. Los fotogramas de detalle muestran una situación ligeramente diferente, con porcentajes de varianza que superan el 80% para las bandas correspondientes a la primera CP y porcentajes de varianza cercanos al 15% en la segunda CP. Escapa a esta tendencia el fotograma ML029, con niveles digitales en las tres bandas de visible bastante más correlacionados que el resto de las fotografías de detalle, que muestra en la primera CP en torno al 95% del total de información recogido en la imagen.

Tabla 4.3.2. Porcentaje de información registrado en las Componentes Principales de las imágenes empleadas a partir de sus autovalores.

Fotograma	Tipo	Componente Principal	Autovalor	Varianza explicada (%)
ML025	General	1	1692,882	91,86448101
		2	138,9292	7,539012675
		3	10,99244	0,59650631
ML_DSCN3413	General	1	1279,098	89,25498384
		2	149,167	10,40881791
		3	4,818	0,336198252
ML026	Detalle	1	643,3665	82,78648814
		2	120,5805	15,51594019
		3	1,319253	1,697571671
ML027	Detalle	1	617,3691	85,71781195
		2	92,7868	12,8828629
		3	10,07842	1,399325153
ML028	Detalle	1	810,6987	87,45513562
		2	104,9082	11,31710321
		3	11,3812	1,227761176
ML029	Detalle	1	2253,035	95,21824206
		2	99,735	4,215021681
		3	13,41	0,566736258

Las Figuras 4.3.10-4.3.13 muestran algunos de los fotogramas utilizados en este trabajo y las bandas obtenidas a través de análisis de Componentes Principales. Como puede verse, en general, la segunda Componente Principal es la que muestra mejor los detalles

concernientes a la pintura. La banda correspondiente a la primera Componente Principal, por su parte, muestra el albedo de las distintas imágenes. La tercera CP muestra detalles muy minoritarios en la imagen, en general relacionados con los microdesconchados que afectan a gran parte de las figuras del panel.

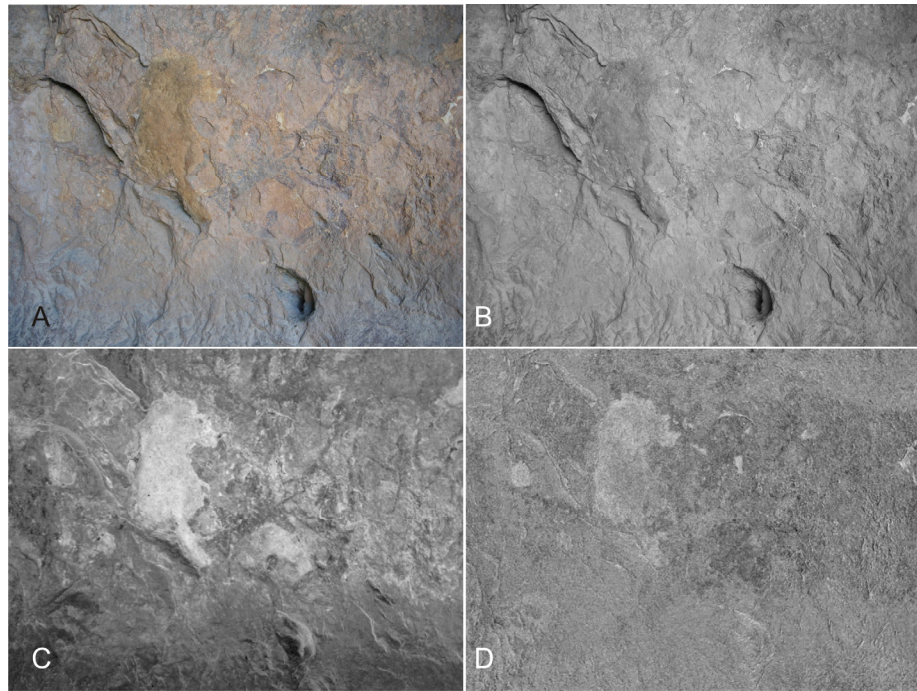


Figura 4.3.10. A. Fotograma general ML_DSCN3413. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.

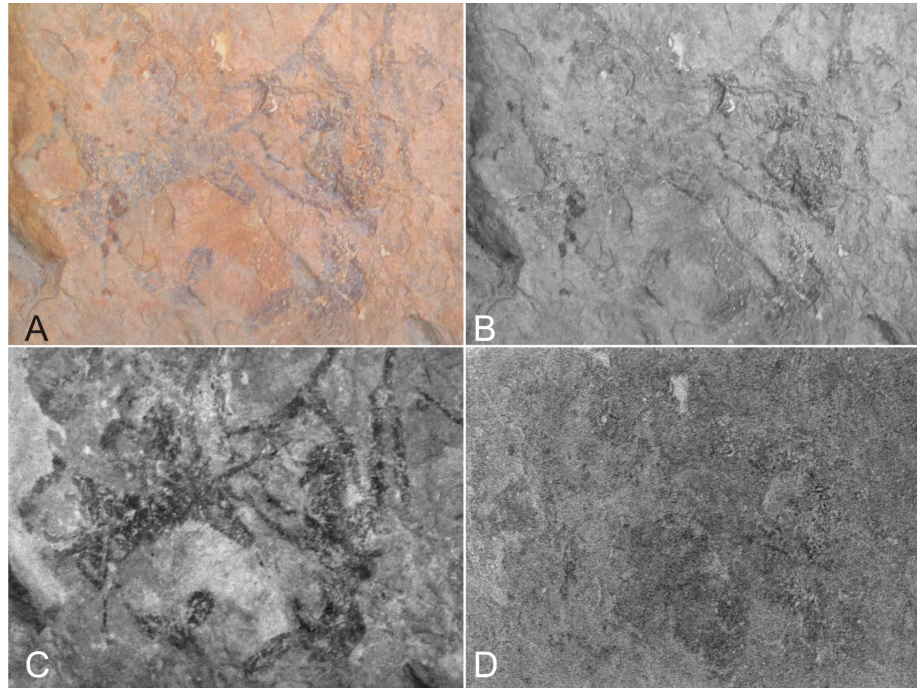


Figura 4.3.11. A. Fotograma de detalle ML026. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.

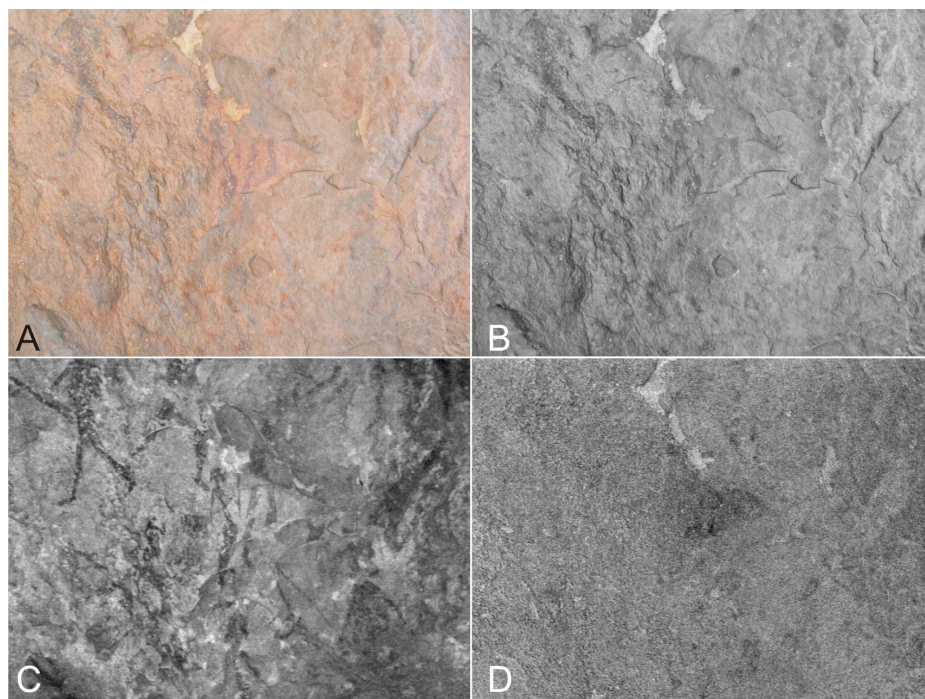


Figura 4.3.12. A. Fotograma de detalle ML027. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.

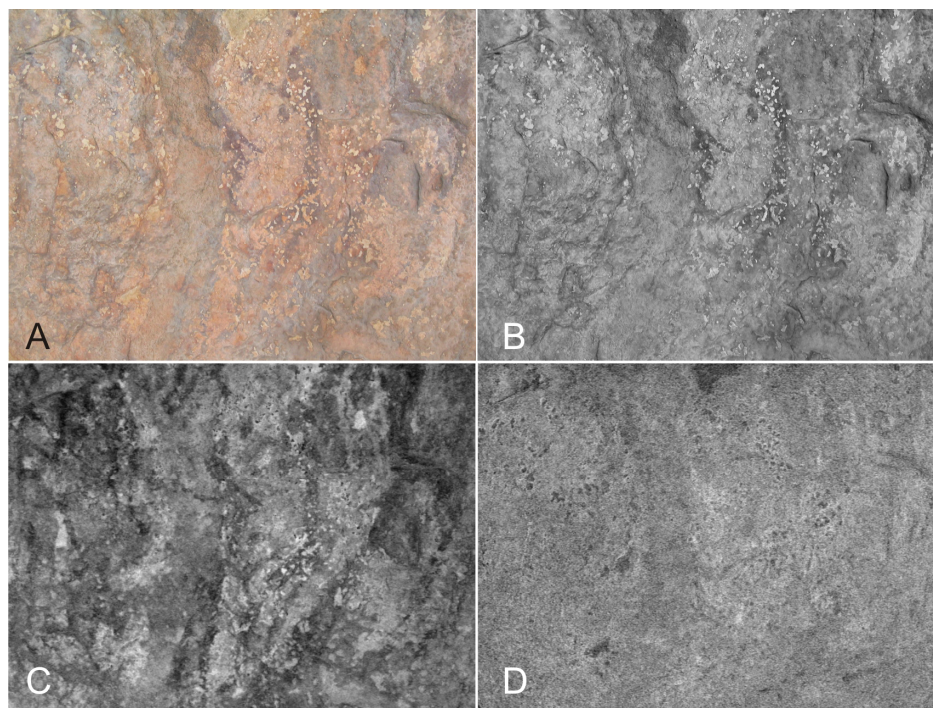


Figura 4.3.13. A. Fotograma de detalle ML028. B. Banda correspondiente a la primera CP. C. Banda correspondiente a la segunda CP. D. Banda correspondiente a la tercera CP.

Si bien, como hemos comprobado, la segunda Componente Principal es la más adecuada para visualizar las pinturas de este abrigo, se elaboraron imágenes en falso color utilizando todas las bandas procedentes de análisis de Componentes Principales. Este procedimiento, como hemos comentado con anterioridad, arroja resultados similares a los de una clasificación no supervisada de la imagen (Figura 4.3.14). Las imágenes resultantes se clasificaron siguiendo métodos no supervisados, consiguiéndose una mejor resolución de las figuras con respecto a la roca soporte (Figura 4.3.15). Los resultados de esta clasificación son, al menos, tan fiables como las clasificaciones de la imagen original, toda vez que la información recogida es la misma, si no más, puesto que al descorrelacionar previamente los valores del píxel se gana en separación y definición de las distintas clases. Existían, no obstante,

áreas en las imágenes que ofrecían una visión muy insegura de la extensión total y/o forma completa de los motivos. Teniendo en cuenta que la información total recogida en las imágenes condiciona el resultado de la descorrelación digital por análisis de Componentes Principales, pareció más oportuno tomar como marco de trabajo imágenes de detalle, que en principio recogen áreas visualmente mucho más homogéneas, sin grandes contrastes apreciables en las bandas de visible y con una aceptable resolución de las áreas pintadas en la segunda Componente Principal. Por ello, se decidió elaborar imágenes en falso color tanto con todas las bandas producto de análisis de Componentes Principales como utilizando de manera ponderada la segunda Componente Principal en las composiciones. Se probaron también composiciones híbridas, utilizando bandas de visible junto a la correspondiente a la segunda CP. Las Figuras 4.3.16 a 4.3.21 muestran los resultados alcanzados con estas técnicas.

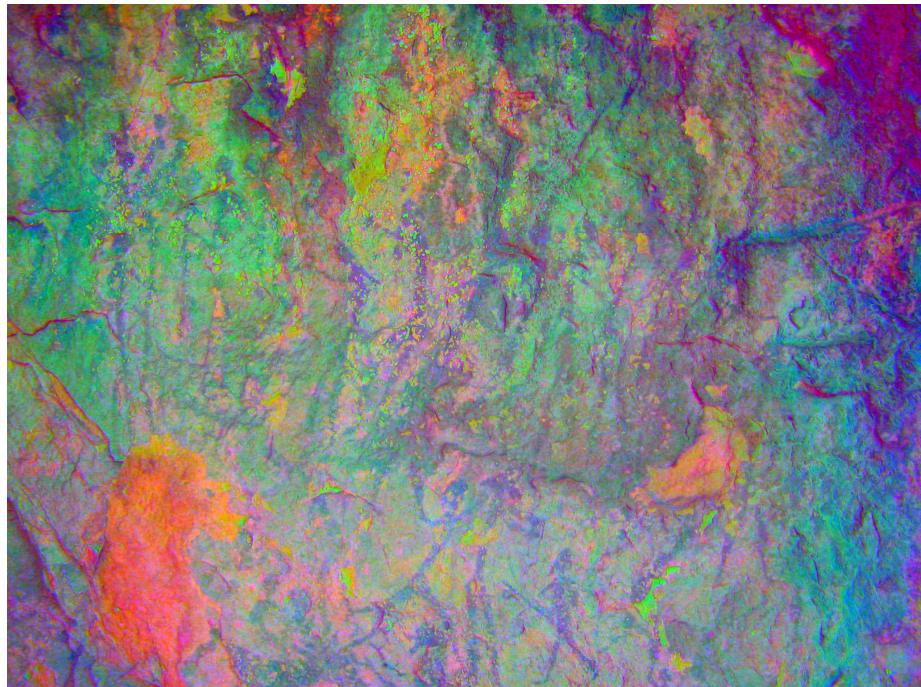


Figura 4.3.14. Imagen en falso color elaborada a partir de las bandas correspondientes a las Componentes Principales del fotograma ML025 (CP2, CP1, CP3).

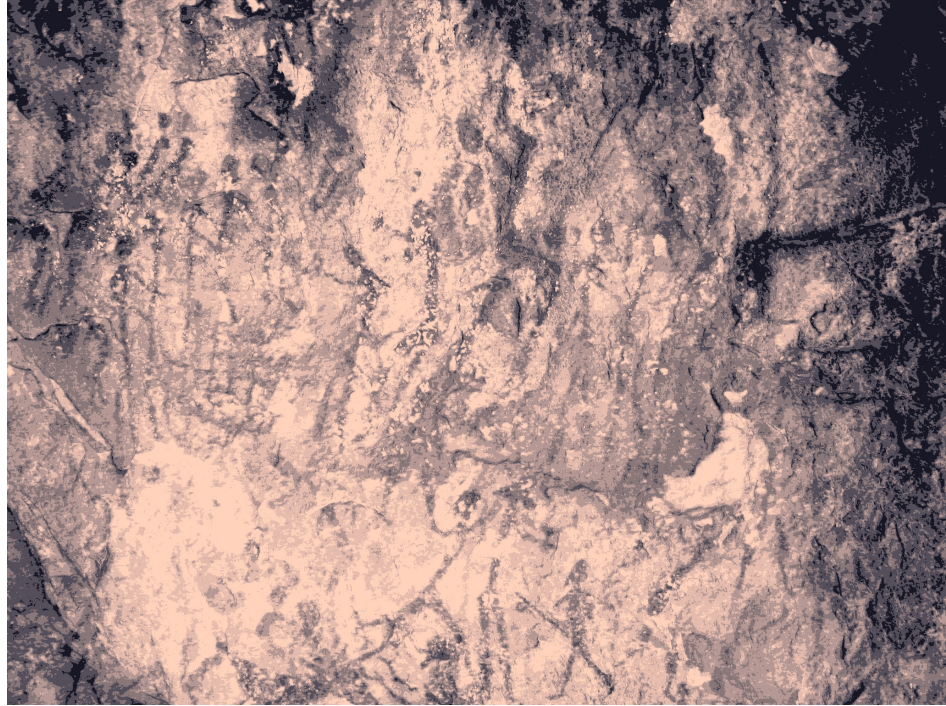


Figura 4.3.15. Clasificación K-means (no supervisada) del cubo de imagen obtenido de las Componentes Principales del fotograma ML025.

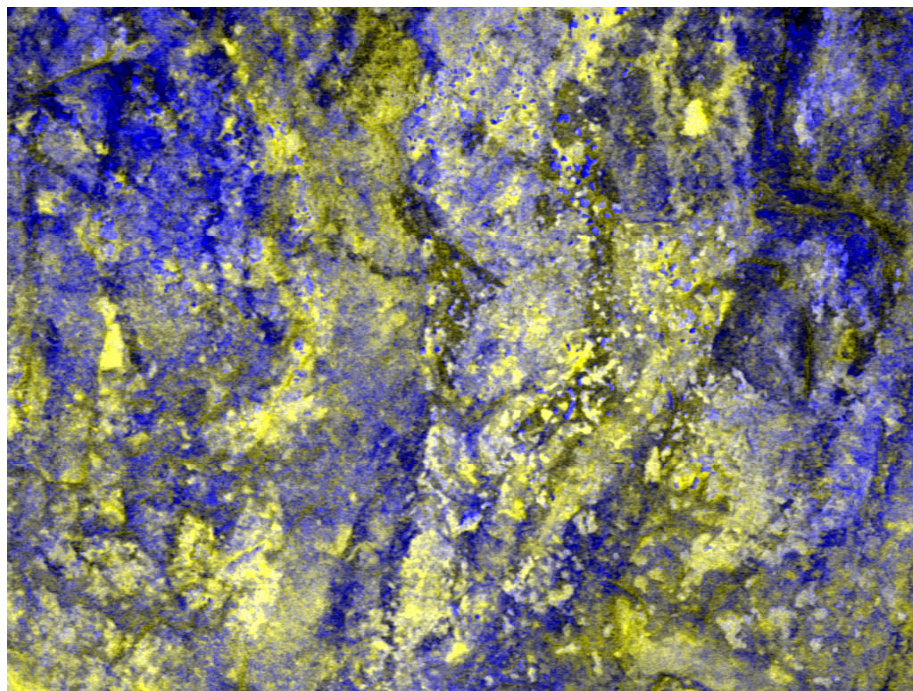


Figura 4.3.16. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML028 (CP2, CP2, CP1).

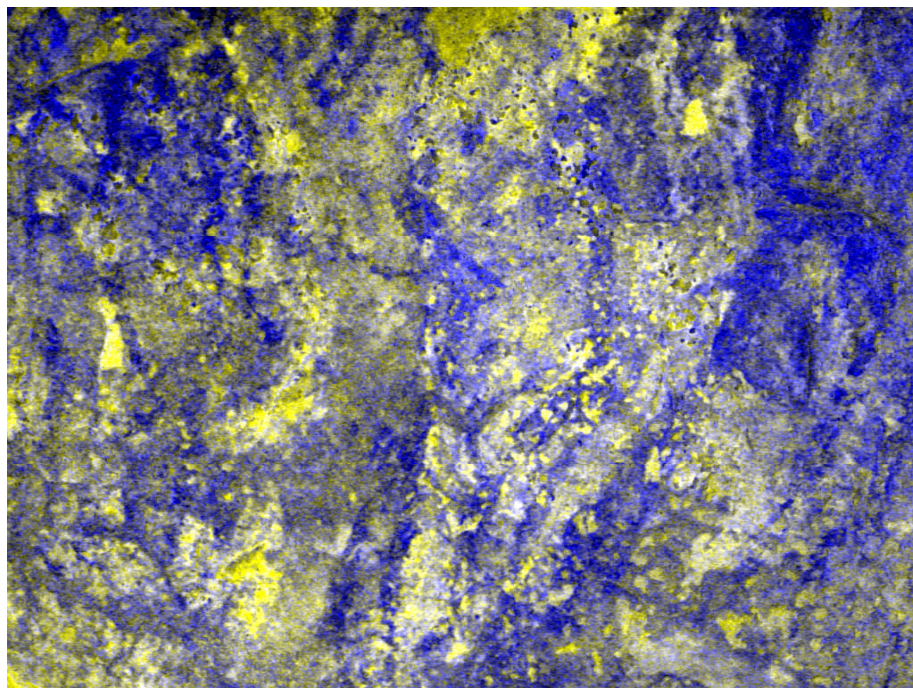


Figura 4.3.17. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML028 (CP2, CP2, CP3).

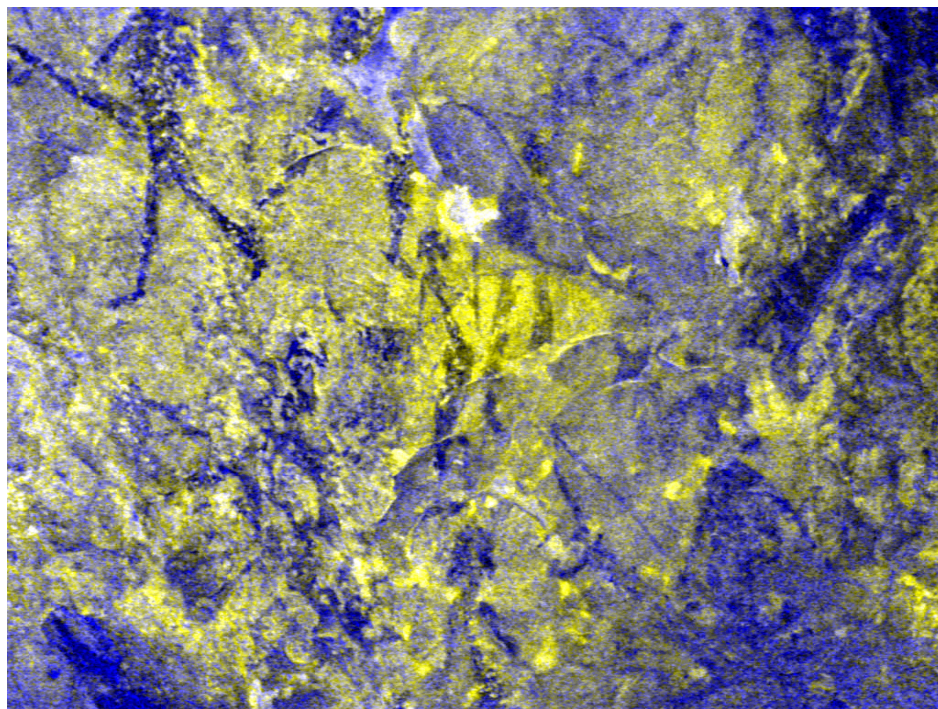


Figura 4.3.18. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML027 (CP2, CP2, CP3).

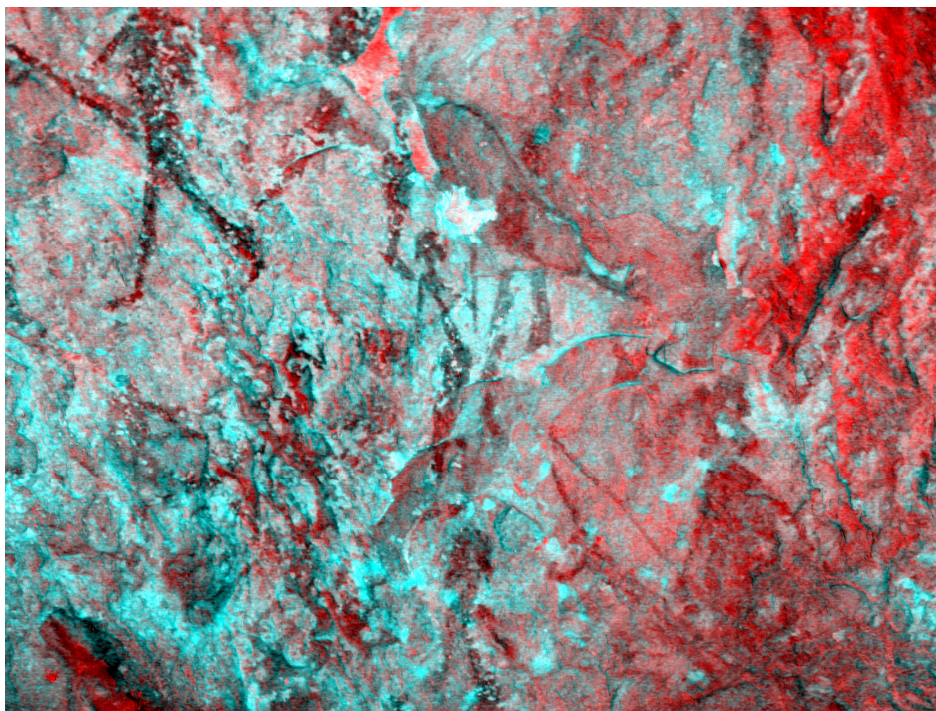


Figura 4.3.19. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML027 (CP1, CP2, CP2).

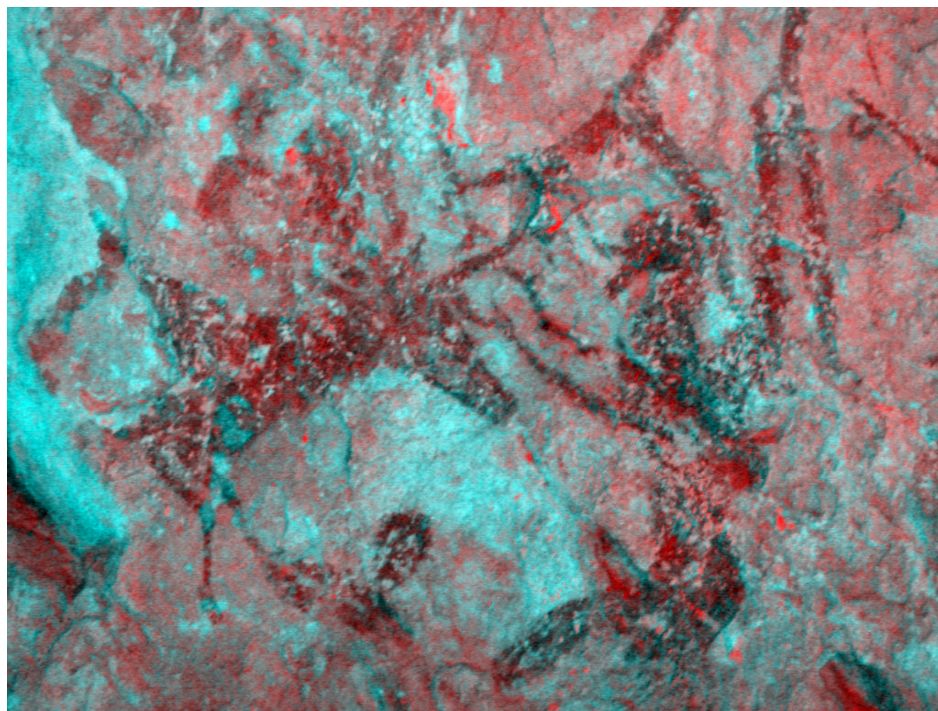


Figura 4.3.20. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML026 (CP1, CP2, CP2).

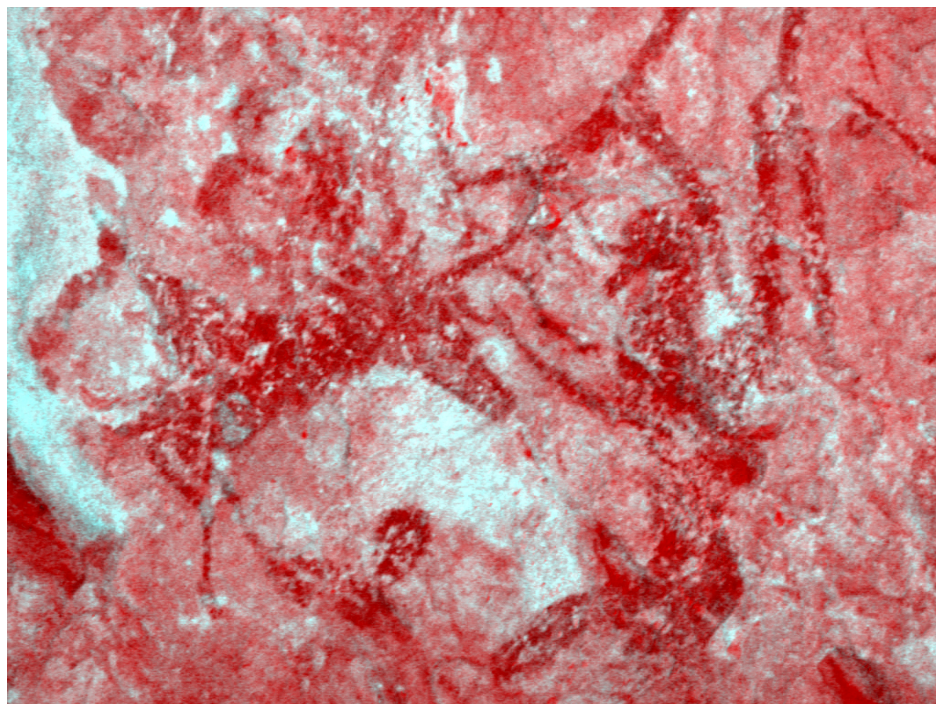


Figura 4.3.21. Composición en falso color ponderando la segunda CP del fotograma ML026 y banda roja de visible (R, CP2, CP2).

Los resultados de la estrategia de análisis de imagen aplicada pueden resumirse en la detección de pequeñas diferencias, en general menores, con el calco publicado, como puede ser el carácter no bisulco, a juzgar por los resultados del análisis de imagen, de la pezuña del cérvido, la presencia de algunas líneas no registradas en el calco, o la mejora en la visualización de algunos detalles de alguno de los personajes. Otros resultados conciernen a la conservación del bien. Así por ejemplo, en el período transcurrido entre la elaboración del calco (años 80 del siglo XX) y la realización del registro fotográfico que nos sirve de base (junio de 2006) se registra la pérdida por microdesconchado de parte de la pintura de una de las patas del cérvido. Los resultados más interesantes para la interpretación del panel son los que implican la detección de nuevas figuras no registradas. Así, detectamos la posible presencia de un nuevo personaje, muy mal definido, inmediatamente a la derecha del

personaje *f* de la sección A del Panel 1 en la terminología utilizada por BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000). La otra posible figura detectada en este trabajo es, probablemente, de mayor interés en la interpretación del panel, pues podría tratarse de una figura zoomorfa de la que se ha reflejado en el calco unos restos de pintura etiquetados como 2 y 3 en la Figura 10 de BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000) y que vendrían a corresponder con las pezuñas traseras del animal. La figura es insegura porque se trata de una zona muy sucia y afectada por varios desconchados, aunque de todas maneras parece reconocerse uno de los cuartos delanteros y gran parte de la cabeza (Figura 4.3.22). La Figura 4.3.23 muestra algunas de las diferencias más significativas encontradas con el calco general del Panel 1.

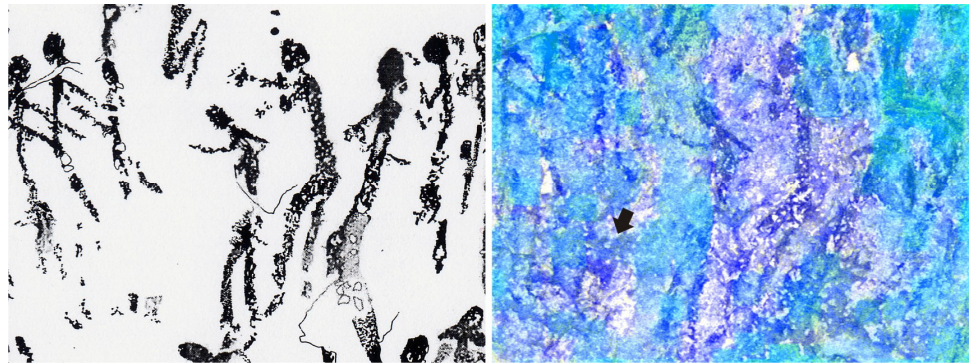


Figura 4.3.22. Izquierda: Calco del área del Panel 1 de Muriecho L en el que se ha localizado el posible zoomorfo. Derecha: La flecha señala la figura animal en una composición en falso color elaborada utilizando la segunda CP y una banda de visible.

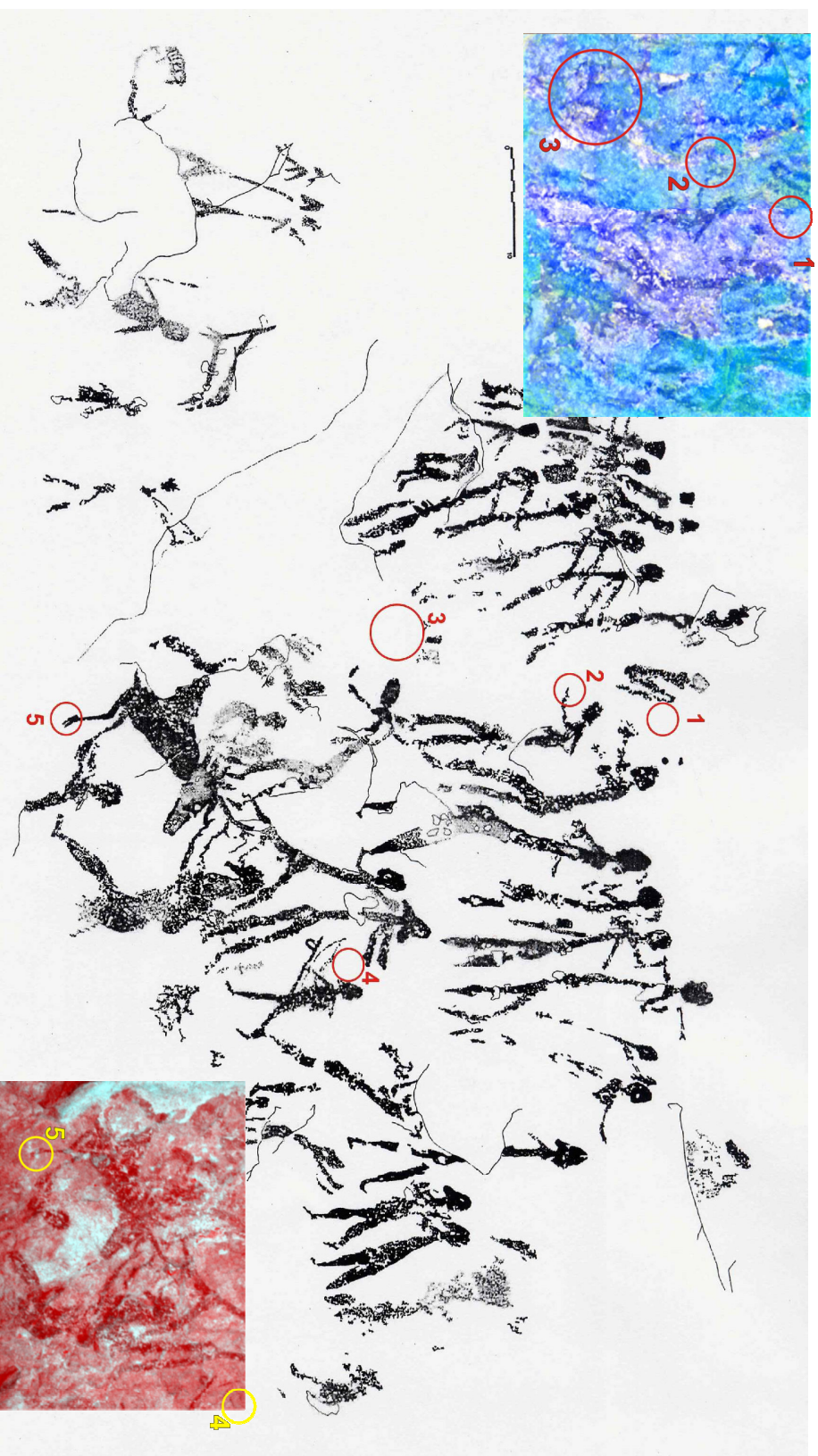


Figura 4.3.23. Discrepancias entre el calco original del Panel 1 de Muriecho L y las imágenes obtenidas en este trabajo.

4.3.4. DISCUSIÓN

Como se comentó en el apartado introductorio de este capítulo, el Panel 1 de Muriecho L describe una escena de caza de carácter inusual en el Arte Levantino, en la que un personaje atrapa un ciervo con sus manos ante la presencia de otros personajes que asisten de alguna manera a esta actividad (BALDELLOU MARTÍNEZ 1985: 118).

Para ALONSO y GRIMAL (1994) se trata más de una agrupación de figuras que de una escena, ya que muchos personajes pueden sugerir otras posibles interpretaciones por sus disposiciones espaciales. Estos autores se muestran especialmente en desacuerdo con la interpretación hecha por sus descubridores argumentando que “al hecho incuestionable de que ciertos individuos contactan con el animal (por la cornamenta, por la pata delantera...) se podría alegar que, en realidad, se trata de una solapación [sic] de figuras que participan cada una de ellas en acciones distintas y semiperdidas actualmente. Pero un elemento importante que hay que considerar, por lo determinante que pudiera resultar, es que en el muestrario de escenas del Arte Levantino no se ha constatado una venación de animales con semejante método, según el cual los individuos parecen acosar y rendir directamente con sus manos a la presa” (ALONSO y GRIMAL 1994: 23).

Por su parte, BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000: 46-49), aunque lo hacen desde una declarada incertidumbre, replican que es precisamente la disposición espacial de las figuras lo que les lleva a hablar de escena y no de simple agrupación de figuras, “de esta forma, la estructura de la obra se aparecería como una composición casi coreográfica construida en torno al cévido a la carrera” (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 46). De un modo u otro, este tipo de composición encuentra paralelo en otros lugares. En palabras de los autores “el Arte Levantino no es ajeno a esas coreografías de organización compleja y de participación multitudinaria (Les Dogues, Abric 1 de Ulldecona, Torcal de las Bojadillas VII, Molino de las Fuentes II...), entre las que no faltan las agrupaciones de seres humanos relacionadas con una única representación animalística (Bojadillas VII)” (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 48).

Con respecto a los individuos que entran en contacto con el ciervo, BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000: 48) consideran “más sencillo – aunque no por ello tenga que ser más cierto— atribuir a los individuos la acción que, visto lo que se ve, parece mucho más palmaria y patente que cualquiera otra que quepa suponer o imaginar”.

El último argumento de ALONSO y GRIMAL (1994), la excepcionalidad de la temática, para su rechazo de la escena es contestado por sus descubridores aludiendo al ejemplo de las representaciones de figuras humanas de la Cueva del Chopo que, aunque excepcionales hasta el momento, han cambiado el tamaño máximo aceptado para las figuras humanas levantinas de unos 40 cm a más de 110 cm. En palabras de BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000: 48), “no cabe duda de que conviene poner en tela de juicio cualquier cuestión cuya excepcionalidad implique vacilaciones en su clasificación, si bien hay que tener en cuenta asimismo que no siempre esta excepcionalidad es sinónimo de inverosimilitud”.

Otros elementos que confirman el carácter sincrónico de la representación son, según los autores ya citados, la “manifiesta unidad en el uso del pigmento” (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 48), las coincidencias en la técnica de ejecución del panel, “a buen seguro pintado mediante plumas” (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 48), que contrasta con las representaciones del entorno, con lo que se aporta al panel una gran coherencia interna con respecto a los aspectos técnicos. Baldellou y sus compañeros señalan también que “a lo inhabitual de la composición se le suma lo inhabitual de los caracteres gráficos de las figuras” (BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* 2000: 49), al señalar lo poco frecuentes que son, en general, en el Arte Levantino las figuras asexuadas, mayoritarias en el panel por falta de elementos que señalen el género (como el arco), con lo que el panel incrementa así su coherencia interna.

Por nuestra parte, la aplicación de técnicas de análisis digital de imágenes a las representaciones del Panel 1 nos permite añadir datos que inciden en la línea de sus descubridores, por lo demás

suficientemente sólida en nuestra opinión, y que al mismo tiempo la complementan.

Por un lado, la manifiesta homogeneidad cromática señalada encuentra su correlato en un comportamiento óptico homogéneo. Así, los píxeles pigmentados aparecen en general en la misma Componente Principal (la segunda), lo que es un argumento a favor de su unidad en cuanto a composición química. Este argumento no es definitivo *per se*, puesto que no disponemos de confirmación analítica, pero, como veremos en los resultados que se describen en el capítulo siguiente, el análisis de imagen nos permite distinguir entre pigmentos, con colores parecidos, pero con distinta composición. La homogeneidad en el comportamiento óptico de las diferentes figuras es un argumento a favor de la utilización de una sola “receta” pictórica para todas las pinturas del panel, y por tanto para su contemporaneidad.

Por otra parte, la detección de una nueva figura animal transforma la composición del panel, pasando a la de una escena que gira en torno a, al menos, dos figuras animales: la reflejada en el calco y la aparecida al descorrelacionar las imágenes. La posición de los personajes en el panel es congruente con esta nueva figura, ya que miran a la derecha las que se sitúan a la izquierda del nuevo animal, y hacia la izquierda las que se sitúan a la derecha del mismo. La posición de la figura *j* de la sección *D* del panel, en la terminología empleada por BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000: 59, 62) parece más congruente en relación con este nuevo zoomorfo que con el previamente conocido, al que da “la espalda” a pesar de que se sitúa muy cerca del mismo, rozando la cornamenta del ciervo con uno de sus pies.

Si bien las pérdidas de pintura en el panel no permiten establecer de manera concluyente la relación de estas figuras con el nuevo animal situado en el mismo, sí podemos especular con que se trate de una representación de carácter narrativo en la que, a modo de sucesivas “viñetas” se explicara una misma acción, en la que la caza a mano del cérvido juega el papel central; o bien que la escena constituya un conjunto en el que se da cuenta de la caza por estos medios de varios

animales, en la que colabora gran parte del grupo que se “retrata”. En todo caso, la interpretación del panel, aunque pueda estar apoyada por los resultados analíticos, constituye un ejercicio de imaginación más que de investigación científica, por lo que nos abstendremos de seguir especulando con respecto a la misma en este espacio.

La detección de pérdidas de superficie pintada, ya comentada, por medio de microdesconchados, en un período de tiempo tan corto en comparación con la vida del panel como son veinte años debe servirnos de aviso en relación con la conservación del mismo. En este sentido, probablemente la comunidad bacteriana de carácter endolítico de la que dimos cuenta más arriba, detectada *de visu* y caracterizada mediante técnicas de biología molecular, esté en el origen de este tipo de deterioros que afectan a gran parte de las figuras pintadas y pueden ser una causa para la desaparición del mismo en un periodo de tiempo que no nos atrevemos a aventurar.

4.3.5. CONCLUSIONES

El enfoque aportado en este caso de estudio nos ha permitido añadir nuevos datos a los conocidos del panel, que vienen dados por los calcos publicados por BALDELLOU MARTÍNEZ *et alii* (2000). Estos calcos, elaborados por métodos directos, se han aproximado suficientemente a la extensión de muchas de las figuras que reflejan, aunque no muestran algunos detalles en varias de las representaciones que sí se perciben en las imágenes descorrelacionadas, y no representan al menos dos posibles figuras, que sí han sido detectadas mediante análisis de imagen. Comparando la visibilidad de las figuras y los paneles publicados, no podemos sino elogiar la capacidad de observación de los investigadores que realizaron su registro gráfico.

Recapitulando nuestros resultados, hemos de convenir en que la estrategia que se ha adoptado ha permitido, por una parte, mejorar de manera importante la visibilidad de las figuras presentes en el panel. Por otra parte, y muy en relación con este primer resultado, se

han detectado dos posibles nuevas figuras que complementan (y complican también) la lectura del panel, al añadir nuevos elementos que deben ser interpretados.

Por último, la utilización de estas técnicas nos ha permitido la detección de manera cualitativa de pérdidas recientes en la capa pictórica del panel mostrándonos que, lejos de ser un proceso detenido, el deterioro del mismo es continuo ya que las causas del mismo siguen actuando en la actualidad. Por ello, este enfoque se muestra adecuado para la monitorización del estado de conservación del panel.

Hay que resaltar que los datos obtenidos lo han sido con una gran economía de tiempo (un solo día en campo, aunque algunos más en laboratorio), por lo que este trabajo permite ejemplificar las posibilidades que, tanto para el registro como para la evaluación del estado de conservación de los paneles, aportan estos métodos no invasivos de documentación.

4.4

Diferenciación de fases pictóricas en La Coquinera II (Obón, Teruel)

4.4.1. INTRODUCCIÓN

Aunque en algunos casos la decoración pictórica de los abrigos parece corresponder con un solo momento es muy habitual que, por el contrario, se documenten distintos episodios en la elaboración de las representaciones parietales, bien mediante la identificación de motivos con una clara diferencia tipológica, bien a partir de la detección de superposiciones entre los motivos, que hace posible extrapolar una cronología relativa entre los episodios decorativos. Dado que en muchos abrigos no existen superposiciones o, al menos, estas no están claras, las herramientas analíticas empleadas

tradicionalmente para detectar estas fases han sido, por una parte, el estudio tipológico de los motivos y, por otra, la utilización de tablas de color para definir el cromatismo de las pinturas y poder así establecer series o estratigrafías cromáticas que, como tales estratigrafías, se presuponen con sentido cronológico.

Para algunos autores (APELLÁNIZ 2004, por ejemplo), la principal limitación de los estudios tipológicos recae en el desarrollo de teorías evolutivas a partir de estos, que en el fondo constituyen la expresión de una hipótesis no contrastable que no tiene más valor científico que cualquier otra. Sin embargo, y a pesar de sonadas excepciones como es el caso de la cueva de Chauvet, el valor cronológico *grosso modo* de los estudios tipológicos ha podido ser verificado en gran cantidad de ocasiones mediante dataciones directas, que constituyen un corpus ya bastante numeroso para las representaciones encuadrables en el Paleolítico Superior, y no tan numeroso, pero igualmente certero en relación con las tipologías, para las representaciones rupestres postpaleolíticas, fundamentalmente esquemáticas y megalíticas, pero también (aunque a partir de la datación de pátinas de oxalatos) levantinas (*vid.* Tablas 1.1 a 1.4, en el capítulo introductorio de este trabajo). Aceptando de modo general la validez empírica de la tipología para establecer un marco cronológico relativo, hay que reconocer que, en ocasiones, se documentan motivos difíciles de clasificar, unas veces por su unicidad, otras por su estado de conservación, que los hace difícilmente legibles, y por tanto identificables y encajables en el marco tipológico.

El estudio del cromatismo de las pinturas parte de la asunción de que colores iguales han de corresponder con un mismo momento decorativo. Esta afirmación, que *a priori* parece discreta, no puede aceptarse de manera acrítica, ya que un mismo color puede deberse a la aplicación de pigmentos diferentes y, a la inversa, un mismo pigmento ha podido degradarse, merced a procesos posteriores, en tonos diferentes. Se ha señalado, por otra parte, la utilización de diferentes colores para la elaboración de distintos elementos de una misma escena (MAS CORNELLÁ 2001), si bien algunos de estos motivos

difieren no sólo en color sino también en tipología (MAS CORNELLÁ 2001: 148, Figura 2).

Como ya se comentó en el capítulo dedicado a la Metodología, desde hace ya algún tiempo se vienen utilizando en la Península Ibérica técnicas de análisis de imagen para la elaboración de calcos de arte rupestre, de los que el punto de partida son los trabajos ya clásicos de VICENT GARCÍA *et alii* (1996) y MONTERO RUIZ *et alii* (1998), con la intención de llevar a cabo una documentación que minimice los daños que pudieran derivarse de la utilización de otros métodos más tradicionales como el calco directo (ROGERIO-CANDELERÁ 2008, 2009). A riesgo de repetirnos, recordaremos que *grosso modo* puede decirse que hay dos enfoques distintos a la hora de plantear estos calcos basados en el análisis de imagen: por una parte podríamos hablar de enfoques basados en las técnicas de *retoque fotográfico*, en los que el software básico es el Adobe Photoshop y similares y cuyos tratamientos consisten básicamente en la expansión del histograma para el incremento del contraste y/o la selección de gamas de color para la definición de los motivos (DOMINGO SANZ y LÓPEZ MONTALVO 2002, LÓPEZ MONTALVO y DOMINGO SANZ 2005, 2009, CANTALEJO *et alii* 2006, MAURA y CANTALEJO 2005, por ejemplo), pero también, incluso, para su “restauración virtual” mediante la utilización de la herramienta *tampón* y el clonado de áreas (SOLÍS DELGADO 2009), con lo que efectivamente lo que se documenta es un panel retocado no sólo en cuanto a los tonos de color sino también en cuanto a la extensión de los motivos. Los inconvenientes de este encuadre metodológico, como también se ha dicho ya en este trabajo, tienen que ver con la alteración de los valores del píxel que se produce, lo que imposibilita la extracción de más información de la matriz de datos y se desperdicia así información que puede ser muy valiosa para el conocimiento integral del sistema (ROGERIO-CANDELERÁ 2009). Un enfoque diferente, que hemos denominado *analítico*, es el que incide en la utilización de los datos recogidos en las imágenes digitales a partir de la aplicación de filtros y algoritmos de clasificación, operaciones de álgebra de imagen y tratamientos para la descorrelación de datos. Este enfoque, hasta ahora menos utilizado que el anterior, es el que se desarrolla en esta Tesis Doctoral y permite rescatar de las imágenes digitales información que está

efectivamente presente pero no es, por lo general, apreciable a simple vista, ya que se basa en que la información registrada en una imagen digital estándar tiene su correlato en la reflectividad real de los materiales, que manifiestan comportamientos diferentes según la longitud de onda que registre el sensor haciendo posible discriminar entre dos elementos *a priori* similares en una imagen a color, pero que en realidad responden a composiciones diferentes. Este último tipo de enfoque es el aplicado en este caso de estudio, en el que se utiliza un protocolo de análisis de imagen basado en el Análisis de Componentes principales y el álgebra de imagen para la diferenciación de dos fases decorativas distintas presentes en el abrigo de la Coquinera II.

Para poder evaluar la idoneidad de este enfoque parece necesario cruzar los datos obtenidos mediante análisis de imagen con la caracterización de los pigmentos. Desde el punto de vista de la conservación, lo más aconsejable es proceder a la caracterización *in situ* de los mismos utilizando técnicas no invasivas o al menos microdestructivas. Sin embargo, varias cuestiones se suman para dificultar la caracterización *in situ* de los pigmentos: por una parte, se requiere que los equipos analíticos empleados sean auténticamente portátiles y no sólo portables como los que, de un tiempo a esta parte, se están llevando a edificios y museos para caracterizar pigmentos de pinturas murales y/o de caballete. La mala accesibilidad que, en general, tiene la mayoría de los lugares con pinturas rupestres condiciona que sea necesario cargar con los equipos a veces durante varios kilómetros de camino más o menos complicado por lo que los equipos deben ser lo suficientemente ligeros como para permitir su traslado en condiciones de seguridad, tanto para el equipo como para el porteador. Aunque la tendencia imperante cada vez se acerca más a la reducción del tamaño y peso de los equipos, por lo general se cuenta con prototipos más que con equipos comerciales, y no para llevar a cabo todas las posibles técnicas analíticas. Una de las recientemente empleadas *in situ* es la espectrometría de Fluorescencia de Rayos X por Energía Dispersiva (EDXRF), que posibilita el análisis elemental cualitativo, informando sobre la composición elemental del pigmento (ROLDÁN *et alii* 2007, ROLDÁN 2009).

Por otra parte, los paneles de arte rupestre han permanecido expuestos a la intemperie desde que fueron realizados, sufriendo procesos que hacen difícil la obtención de datos seguros sobre el pigmento original. Por ello, para la caracterización de pigmentos se hacen imprescindibles técnicas con alta sensibilidad y capacidad resolutive multielemental y en perfil y capaces de cuantificar los elementos presentes.

Estos condicionantes hicieron necesaria la toma de muestras, forzosamente de escasa entidad (menos de 1 mm²) de cara a garantizar la integridad del bien a investigar. La técnica de caracterización utilizada ha sido la espectroscopia de plasma acoplado y espectrometría de masas con ablación láser (LA-ICP/MS), que cumple con estos requisitos y ha sido ya utilizada con éxito en muestras de arte rupestre (RESANO *et alii* 2007).

4.4.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.4.2.A. SITIO DE ESTUDIO

El abrigo de La Coquinera II se localiza en el término municipal de Obón (Teruel). Descubierta en 1985 y publicada entre 1991 y 1998 (PICAZO MILLÁN *et alii* 1991, PICAZO MILLÁN 1992, PERALES GARCÍA y PICAZO MILLÁN 1998) el abrigo se sitúa a una altura de 640 metros s.n.m. en el tramo inferior de un cortado calizo de la margen izquierda del Río Martín, junto al abrigo de La Coquinera I. El lugar donde se emplazan los abrigos coincide con el inicio de un estrechamiento del río, que discurre profundamente encajado entre paredes de unos 50 m de altura (Figuras 4.4.1 y 4.4.2).

La Coquinera II es una oquedad de unos 4 m de profundidad y 16 m de anchura, cubierta por una visera a unos 11 m sobre la base (PERALES GARCÍA y PICAZO MILLÁN 1998). Con una roca encajante de naturaleza dolomítica, las representaciones parietales presentes en el abrigo consisten en un panel pictórico situado a unos 3 m de altura sobre la base del abrigo, y un panel grabado dos metros por debajo que recibe la denominación de Coquinera III (BELTRÁN MARTÍNEZ 2005).



Figura 4.4.1. Localización de los abrigos de La Coquinera en el Parque Cultural del Río Martín (Teruel).



Figura 4.4.2. Paredes en las que se abren los abrigos de La Coquinera. Fotografía de J.M. González.



Figura 4.4.3. Panel rupestre de La Coquinera II. Fotografía de J.M. González.

El ámbito objeto de estudio, Coquinera II, consta de 43 figuras esquemáticas correspondientes a dos paneles superpuestos, uno con una escena que se ha interpretado como de caza de cérvidos y el otro, superpuesto a este, compuesto por una serie de antropomorfos en torno a una figura circular (Figura 4.4.3). Además hay otras dos figuras esquemáticas, realizadas con distintos tonos cromáticos, una de ellas infrapuesta a la escena de caza y otra sin relación “estratigráfica” con el resto del panel. Olvidando conscientemente estas dos últimas figuras, las dos composiciones que se superponen están realizadas en color rojo, con variaciones cromáticas que se definen, usando la notación de Munsell, como 10R 3/3, 10R 3/4, 10R 4/4, 10R 4/3, 10R 5/6, 10R 5/8 y 2.5 YR 6/8 y que corresponden a distintos matices de rojo, desde tonos débiles y desvaídos hasta otros más oscuros. A pesar de la existencia de tan variada gama de tonos de rojo, estilísticamente sólo parece haber dos planes decorativos: por una parte, en tonos por lo general más claros aunque no de

manera exclusiva, se dibuja la escena de caza, a la que se superpone el conjunto de “orantes”, con tonos en general más oscuros, aunque tampoco de manera excluyente (PERALES GARCÍA y PICAZO MILLÁN 1998). La escena de los “orantes” se ve repiqueteada y rayada con objetos punzantes en un momento indeterminado anterior a su descubrimiento (BELTRÁN MARTÍNEZ 2005).

4.4.2.B. ANÁLISIS DE IMAGEN

Se utilizaron fotografías del panel obtenidas con una cámara fotográfica digital estándar (Nikon E5200, con una apertura de diafragma de 4.8 y una distancia focal de 8 mm), obteniéndose imágenes digitales de 2592 x 1944 píxeles con una resolución vertical y horizontal de 300 dpi. A estas imágenes se les aplicó una adaptación del protocolo ya utilizado en un trabajo reciente para separar las diferentes cubiertas presentes en la imagen (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2010 b), que consistió en la creación de cubos de 3 y 6 bandas a partir de las bandas RGB originales de la imagen, el cálculo de las Componentes Principales y la elaboración de imágenes en falso color a partir de las Componentes Principales minoritarias (Figura 4.4.4). Con este tipo de tratamiento se consigue la descorrelación de los datos abriéndose la posibilidad de separar diferentes cubiertas en función de sus diferencias de reflectividad. Como se ha comentado varias veces a lo largo de esta Tesis Doctoral, el comportamiento óptico de cada cubierta es diferente en cada longitud de onda debido a varias circunstancias entre las que la composición química es la más destacada (VICENT GARCÍA *et alii* 1996). La prospección geológica basada en imágenes de satélite sigue un enfoque similar al comentado, por lo general combinando análisis de Componentes Principales y clasificación a partir de firmas espectrales. Para las operaciones de análisis de imagen se utilizó el software *HyperCube* v. 9.6 (Army Geospatial Center, Alexandria, Virginia, Estados Unidos).

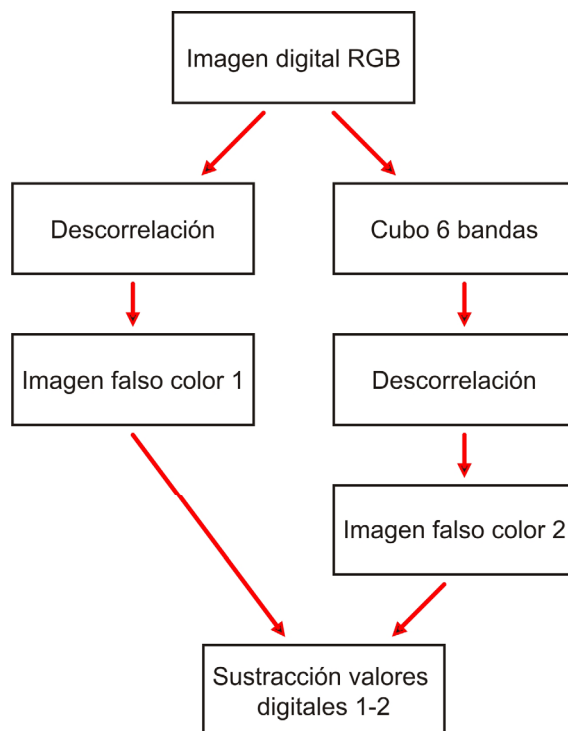


Figura 4.4.4. Protocolo de análisis de imagen utilizado en este capítulo.

4.4.2.C. CARACTERIZACIÓN DE PIGMENTOS

Se tomaron 4 micromuestras de pigmento con bisturí estéril, denominadas COQ001, COQ002, COQ003 y COQ004 (Figura 4.4.5), que correspondían a pigmentos de color rojo (COQ001), anaranjado (COQ002 y COQ003), y a la superposición de pigmento rojo sobre pigmento anaranjado (COQ004). Las muestras se analizaron mediante LA-ICP/MS utilizando un sistema de ablación láser GeoLas de ArF a 193 nm (*MicroLas*, Alemania) acoplado a un espectrómetro de masas con plasma acoplado Perkin-Elmer Sciex DRCplus. Los resultados del análisis de la muestra COQ004 se diferenciaron en dos, correspondiendo a los pigmentos rojo y anaranjado. Como patrones para la cuantificación de resultados se emplearon los materiales del NIST SRM 610 y 612. Los valores se normalizaron usando la señal de

$^{57}\text{Fe}^+$ para corregir las posibles diferencias debidas a la concentración del pigmento. El análisis multivariante de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante el software SPSS v. 15.0.

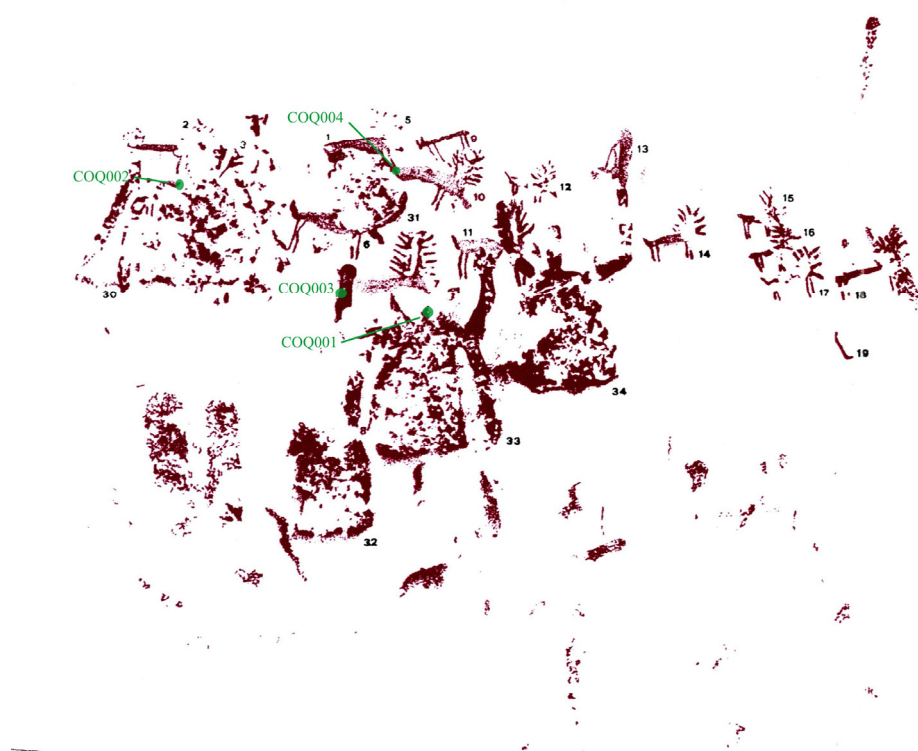


Figura 4.4.5. Ubicación de los puntos de muestreo de pigmentos sobre detalle del calco de la Coquinera II. Fuente: A partir de BELTRÁN MARTÍNEZ (2005).

4.4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de una imagen RGB se elaboraron las Componentes Principales por el método de la matriz de covarianzas. La primera CP, como puede observarse en la Figura 4.4.6, coincide casi plenamente con la imagen original convertida a escala de grises, como reflejo del alto porcentaje de la varianza total explicada por la misma, superior al 97% (Tabla 4.4.1). Las bandas correspondientes a la segunda y

tercera CP explican un 1,9 y un 0,4% respectivamente de la información recogida en la imagen. Como también se aprecia en la Figura 4.4.6, la segunda CP es la más apropiada para destacar la escena de los “orantes”, mientras que la escena de caza, en general con colores más desvaídos, se distingue mejor en la tercera CP, aunque con bastante ruido producido por la detección de figuras de la otra escena.

Tabla 4.4.1. Autovalores y porcentaje de información explicado por cada Componente Principal de la imagen original RGB.

Componente Principal	Autovalor	Varianza explicada (%)
1	1847,918000	97,719817
2	35,822300	1,894320
3	7,296809	0,385863

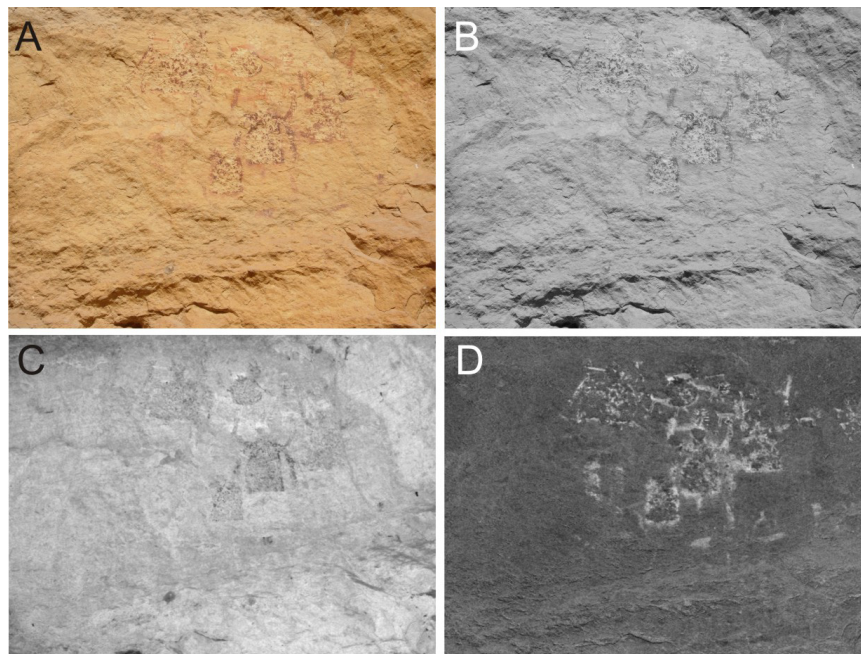


Figura 4.4.6. Descomposición en Componentes Principales de una imagen de La Coquinera II. A. Imagen base (fotografía digital estándar); B. CP1; C. CP2; D. CP3.

Como la Figura 4.4.6 permite comprobar, independientemente de la primera CP, que refleja, en general, el albedo del fotograma, las Componentes Principales segunda y tercera muestran información correspondiente a la capa pictórica, a diferencia de lo que sucedía en el caso de estudio del capítulo precedente. Esta aparición de la capa pictórica en Componentes principales diferentes puede explicarse en términos diferenciales de composición química.

Para intentar separar claramente la capa pictórica con respecto al soporte, se elaboró una imagen en falso color utilizando todas las bandas correspondientes a las Componentes Principales (Figura 4.4.7). El resultado, permitió comprobar que, aunque se daba un aceptable grado de separación entre las distintas cubiertas presentes en la imagen, se hacía necesario descartar el exceso de información presente en la misma. Por ello, se elaboró otra imagen en falso color descartando la primera CP y potenciando el peso de la tercera CP, en la que también aparecía bien marcada la fase de los “orantes”, para destacar la escena de caza (Figura 4.4.8). A pesar de no utilizarse casi el 98% de la información de la imagen, los resultados son similares que los de la Figura 4.4.7, si bien dando lugar a la confusión, en cuanto a la gama cromática, entre los trazos asignables a la escena de los “orantes” y el microrelieve de la pared. El cambio en el orden de las bandas utilizadas no consigue deshacer esta confusión cromática.

Por ello, se decidió cambiar el enfoque adoptado y se aplicó una estrategia doble, dirigida por una parte a la detección y documentación de las erosiones y arañazos que destruían parte del panel y por otra a mejorar la separación de las distintas cubiertas.

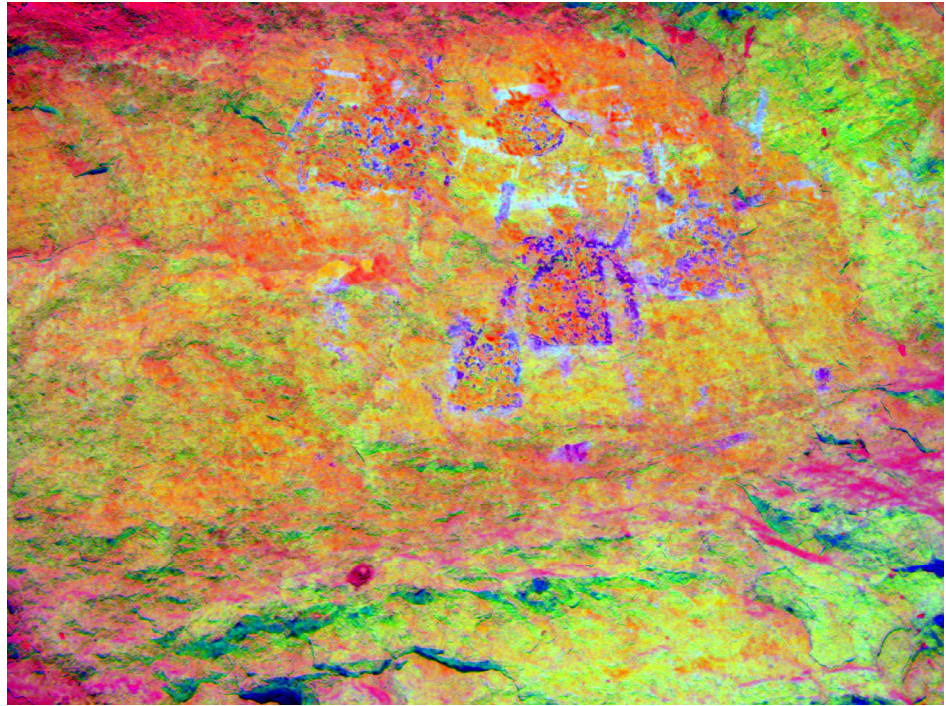


Figura 4.4.7. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP de la imagen RGB original (CP1, CP2, CP3).

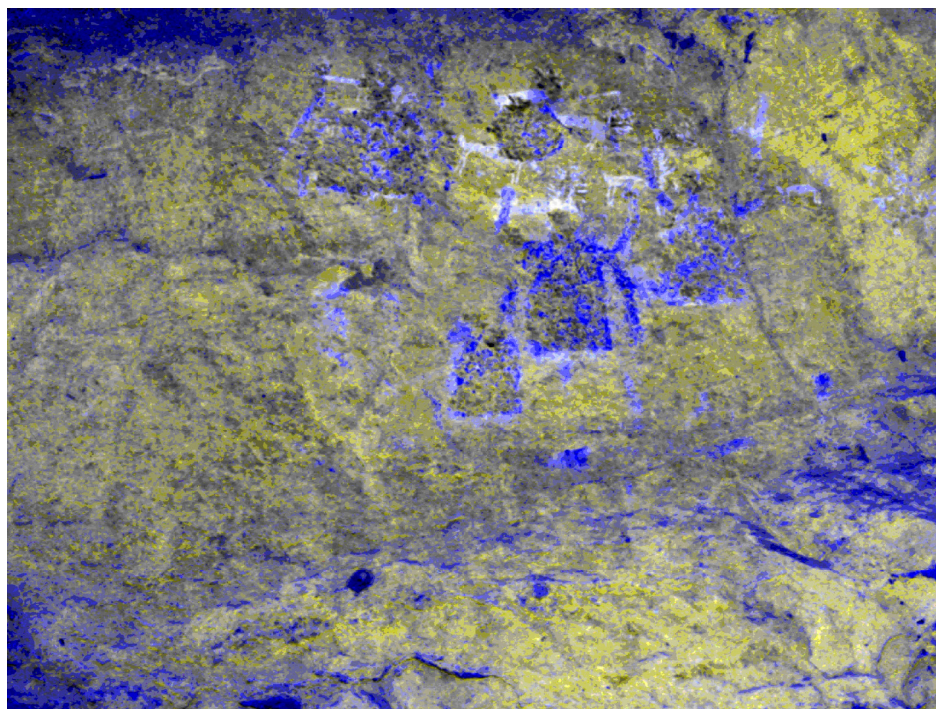


Figura 4.4.8. Imagen falso color a partir de las CP minoritarias (CP3, CP3, CP2).

Así, para alcanzar el primero de los objetivos arriba reseñados, se decidió aplicar a la imagen filtros direccionales que permitieran destacar el relieve, tanto el natural, como el ocasionado por el rayado intencional de los orantes. Los filtros aplicados caen en la categoría de filtros de paso alto de tipo direccional, concebidos para el realce de los elementos lineales que sigan determinadas direcciones. En el caso que nos ocupa, la dirección principal de los rayados determinó que los filtros más adecuados fueran un filtro Oeste y un Noroeste, que, como se explicó en el Capítulo 2 de esta Tesis Doctoral, destacan las líneas con dirección Este-Oeste y Noroeste-Sureste respectivamente. Los resultados de la aplicación de estos filtros se sumaron, facilitando la visión de los rasgos microtopográficos relacionados con la destrucción del panel (Figura 4.4.9) al mismo tiempo que se documenta la microtopografía, que puede llegar a ser una fuente de artefactos visuales.

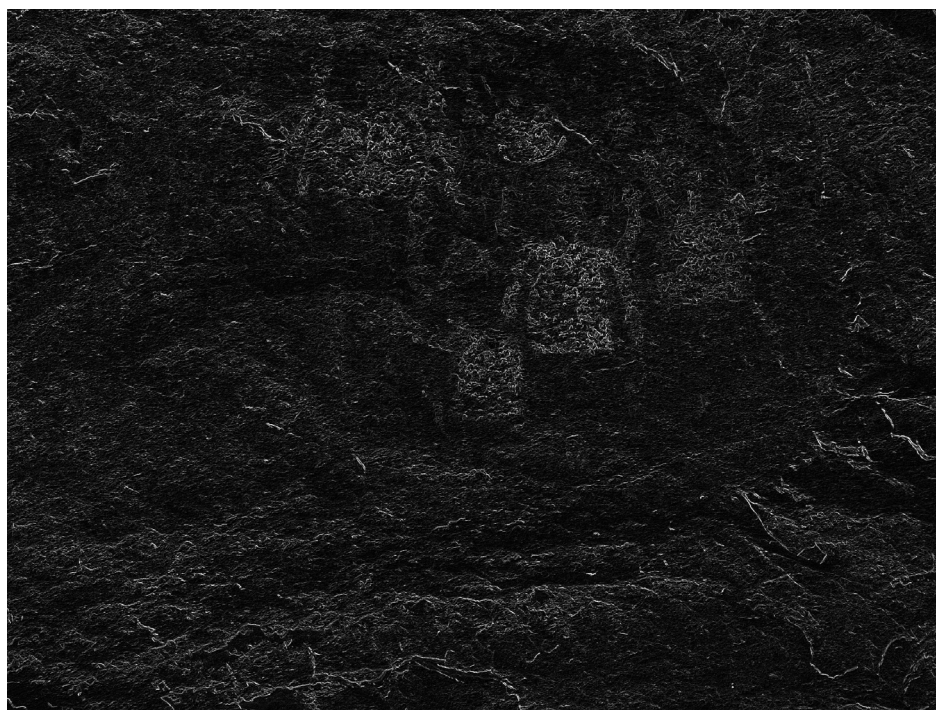


Figura 4.4.9. Resultante de la suma de imágenes obtenidas mediante la aplicación de un filtro W y otro NW a la imagen original RGB.

Para intentar alcanzar el segundo de los objetivos propuestos, es decir, separar claramente las distintas cubiertas del panel o, en otras palabras, para intentar descorrelacionar la información contenida en la tercera CP, se elaboró un cubo de imagen de seis bandas, repitiendo dos veces las distintas bandas RGB de la misma imagen. Este procedimiento duplica la información contenida en la imagen original, pero permite obtener seis Componentes Principales. La hipótesis implícita en este tratamiento es que la primera Componente Principal debe mostrar la mayor parte de la información de la imagen, incluyendo la introducida con las nuevas bandas de visible integradas en el cubo de imagen, quedando cinco bandas más para explicar los valores de píxel no correlacionados con la información recogida en la primera CP.

La Figura 4.4.10 muestra las bandas obtenidas mediante el procedimiento descrito. Estas bandas se utilizarían para elaborar imágenes en falso color que presuponíamos más detalladas que las elaboradas con las tres bandas producto del análisis de Componentes Principales de la imagen RGB original.

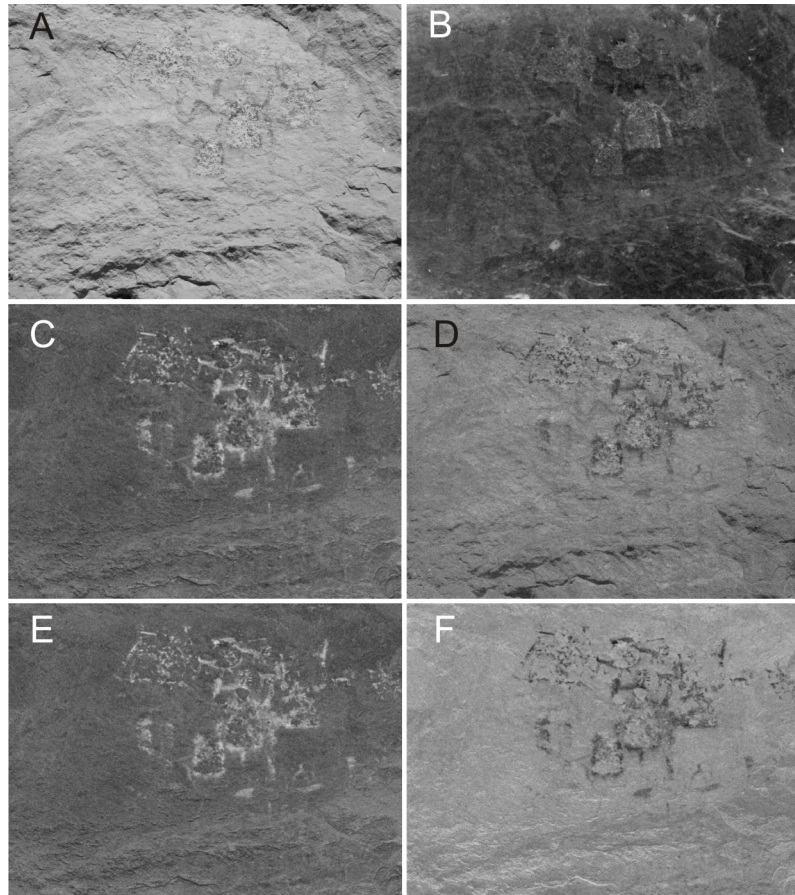


Figura 4.4.10. Componentes Principales del cubo de imagen de seis bandas. A. CP1, B. CP2, C. CP3, D. CP4, E. CP5, F. CP6.

A partir de las bandas obtenidas mediante análisis de Componentes Principales del cubo de imagen de seis bandas se elaboró la imagen

en falso color recogida en la Figura 4.4.11, que constituye la mejor aproximación a la separación de cubiertas obtenida por estos métodos. Aunque la aproximación a la extensión de las diferentes cubiertas obtenida mediante estos procedimientos era bastante buena, no era, sin embargo, suficiente para dilucidar los problemas de visibilidad detectados en la zona inferior del fotograma, donde pintura y microtopografía tendían a confundirse. Por ello, a la imagen en falso color obtenida con la información contenida en todas las Componentes Principales de la imagen original (Figura 4.4.7) se le restaron los valores de píxel obtenidos en la Figura 4.4.11. El resultado se muestra en la Figura 4.4.12. Esta operación algebraica permite separar con un alto grado de definición las dos fases pictóricas señaladas: por una parte, en tonos oscuros (en una gama que va de tonos marrones a casi negros) se señalan las figuras pertenecientes a la escena de caza. En tonos amarillentos, por otra parte, pueden apreciarse los restos de pintura de la escena de los “orantes”, que se superpone a la escena anterior.

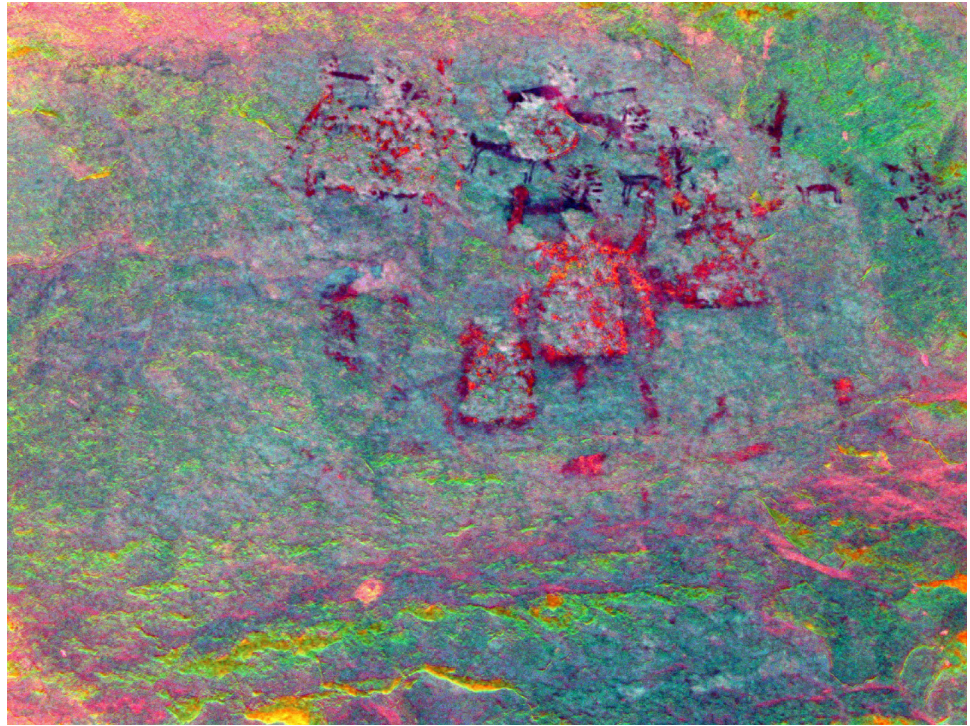


Figura 4.4.11. Imagen falso color a partir de las CP del cubo de seis bandas (CP2, CP6, CP4).

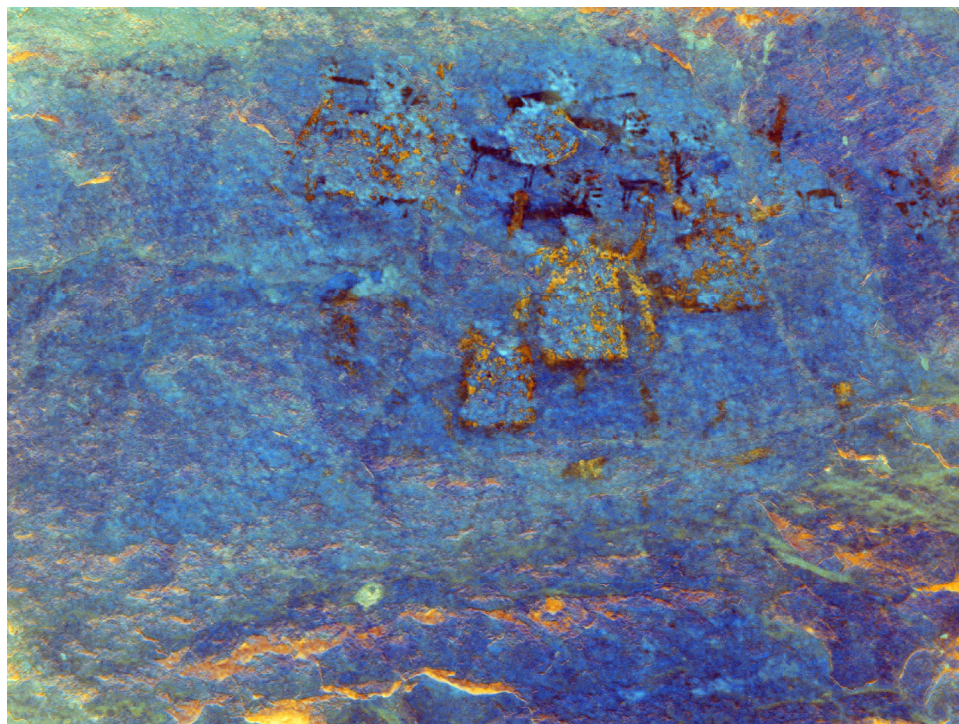


Figura 4.4.12. Imagen falso color resultado de la sustracción a la imagen de la Figura 4.4.7 de los valores de la Figura 4.4.11.

El microanálisis mediante LA-ICP/MS de las muestras de pigmento, por su parte, permitió obtener información cuantitativa sobre 56 elementos que fue homogeneizada para un contenido en hierro del 10% (Tabla 4.4.2). La Figura 4.4.13 evidencia la cercanía de la composición de los pigmentos rojos y la existencia de dos pigmentos anaranjados distintos utilizados en la elaboración de la escena de caza.

Tabla 4.4.2. Composición elemental para cada una de las muestras citadas del abrigo de La Coquinera, homogeneizadas para un contenido en Fe del 10%, valores en µg/g

Elemento	COQ 001 rojo	COQ 002 naranja	COQ 003 naranja	COQ 004 naranja	COQ 004 rojo
⁵⁵ Mn	19,5	510,1	314,8	202,2	254,8
⁵⁹ Co	1,3	29,2	20,2	9,6	16,2
⁵¹ V	21,4	271,4	270,7	113,6	104,2
⁵⁷ Fe	100000	100000	100000	100000	100000
⁶⁵ Cu	4,4	1006,4	132,7	161,2	36,1
²⁰⁵ Tl	0,1	3,9	3,4	1,2	0,5
²⁰⁹ Pb	0,2	2,8	1,2	2,3	0,3
¹²¹ Sb	1,6	27,4	4,9	9,6	2,3
²⁷ Al	2626,2	151931,9	105410,1	57752,9	30145,1
⁴⁹ Ti	182,8	5798,1	3739,2	2384,6	1950,3
²⁹ Si	7621,4	376103,5	306610,1	127088,2	122979,9
⁴⁴ Ca	53902,4	3206195	1243261,4	1178510,5	276722,6
⁸⁸ Sr	56,3	1775	625,8	874,5	211,3
¹⁰⁷ Ag	0	7,2	0,8	1	0
¹³⁸ Ba	27,8	949,1	515,7	286,9	186,5
⁹⁰ Zr	3,8	132,9	65,6	45,4	23
⁹ Be	0,9	0	0	0	0
⁷⁵ As	52,7	168,1	153,3	119,3	75,9
³⁹ K	694,3	104433,5	81685,4	25996,9	12485,4
⁶⁹ Ga	5,8	186,2	117,4	61	36,3
¹¹⁵ In	0	0,1	0,6	0,5	0,1
⁷ Li	2,5	315,6	227,5	74,3	24
²³ Na	382,3	16924,2	6801,8	6184,1	1566,6
⁸⁵ Rb	2,9	454,2	477	143,6	74
¹³³ Cs	0,3	37,9	45,3	12,9	7,8
⁴⁵ Sc	0,6	25,6	10,1	12,8	6,9
⁸⁹ Y	0,7	32	35,2	19	7,5
⁹³ Nb	0,7	25,3	13	8,4	6,3
¹⁸¹ Ta	0	0,3	0,7	1	0,2
¹³⁹ La	3,4	63,9	44,3	30,7	19,7
¹¹ B	22,8	278,6	268,5	233,9	42,2
³¹ P	425,7	16890,7	8271,3	11589,4	2163

Tabla 4.4.2. (continuación)

¹⁰³ Rh	0	0,9	0	0	0
¹⁹⁵ Pt	0,1	0	0	0	0
¹⁰⁵ Pd	0,2	0	3,7	0	0
¹⁸⁵ Re	0	0	0,5	0	0
⁷² Ge	2,7	15,5	0	4,7	1,2
¹¹⁸ Sn	0,6	90,3	12,7	8,1	3,1
⁶⁸ Zn	19,6	1135,8	315,4	270,3	190,8
⁵³ Cr	9	245,2	135,9	113,4	47
²⁵ Mg	658,6	81415,9	26397,8	85568,8	12596,3
²⁰⁸ Pb	24,2	1768,1	121,1	585,8	72,7
¹⁷⁸ Hf	0,1	3,3	0,9	1,2	0,8
¹⁸² W	1	2,8	5	1,4	2,5
⁹⁵ Mo	1	14,4	7	3,3	1,7
³⁴ S	2247,9	738398,6	595035,5	91126	10545,5
⁶⁰ Ni	3,7	123,5	49	41,1	27,1
¹¹¹ Cd	0,2	7,9	3,6	3,6	0,3

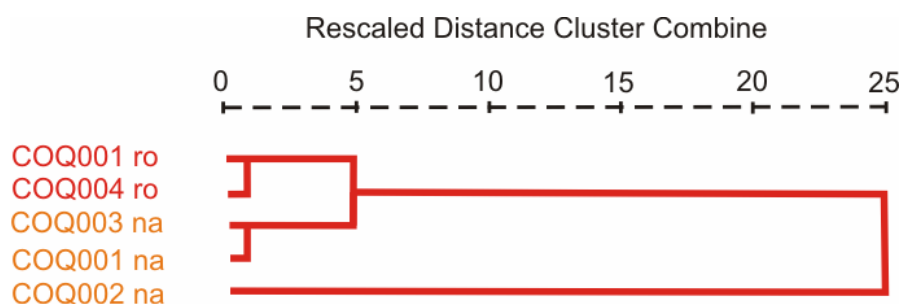


Figura 4.4.13. Dendrograma que muestra el agrupamiento jerárquico de los resultados analíticos obtenidos mediante LA-ICP/MS.

Nuestro enfoque metodológico parte de la base de que composiciones químicas iguales deben presentar un mismo comportamiento óptico, por lo que, a la inversa, los resultados obtenidos a partir del análisis de imagen deben poder interpretarse desde el punto de vista de la composición química. En este sentido, nos parece fiable atribuir una figura a una fase u otra en función de

su comportamiento óptico, ya que, en un contexto (el de la realización de los paneles) en el que no es posible controlar exactamente las proporciones a la hora de preparar las pinturas, una “receta” debe reflejar un momento de elaboración de la pintura, y por tanto, un momento determinado de aplicación.

Los resultados del análisis de imagen parecen apuntar a la utilización de más de dos pigmentos en la elaboración de los paneles. Así, podría identificarse un pigmento rojo que correspondería con las figuras de la fase esquemática más exterior, que podría apuntar al pintado de esta fase en un solo momento, y la existencia de más de un pigmento anaranjado, indicada por la gradación de color observable en las Figuras 4.4.11 y 4.4.12, pero también rastreable en la Figura 4.4.7 (que recoge toda la información del fotograma original), que podría corresponderse con el pintado de esta fase decorativa en más de un momento. Los resultados de la caracterización de pigmentos parecen apoyar esta interpretación puesto que los pigmentos rojos (que corresponden a las figuras del panel de los “orantes”) son bastante homogéneos entre sí y, sin embargo, los anaranjados muestran una notable divergencia en términos de distancia euclídea (el pigmento de la muestra COQ002 es netamente diferente de los de las otras dos muestras).

Si bien todos los pigmentos utilizados están basados en minerales de hierro, la técnica de caracterización empleada nos informa tan sólo de su composición elemental. Así, los pigmentos rojos deben estar basados en hematites (Fe_2O_3) procedente de la misma fuente, un óxido de hierro muy estable en cuanto a su composición que normalmente se presenta como sustancia pura con pequeñas cantidades de manganeso y titanio (KLEIN y HURLBURT 2003) lo que explicaría la cercanía de estas muestras en el dendrograma. Por otra parte, cabe interpretar el desagrupamiento de los pigmentos anaranjados como resultado de su composición molecular. Así, estos pigmentos se basarían en oxi-hidróxidos de hierro tipo limonita ($\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$): la limonita no es un mineral sino una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro hidratados (goetita, lepidocrocita, etc.), de composición variable en función de las proporciones de cada mineral en la mezcla que puede cambiar incluso cuando se trata de

materiales (pigmentos) recogidos en el mismo afloramiento (KLEIN y HURLBURT 2003).

4.4.4. CONCLUSIONES

La utilización de técnicas de análisis imagen y técnicas de caracterización microdestruktiva de pigmentos ha proporcionado resultados congruentes entre sí, que parecen apuntar a la decoración del abrigo en al menos dos momentos que se corresponden con dos fases decorativas diferenciadas, sin descartar, a juzgar por las diferencias en composición que la fase de la escena de caza pueda haberse producido en dos momentos distintos.

En este sentido, la aparición de dos pigmentos anaranjados distintos puede deberse tanto a la utilización de oxi-hidróxidos de hierro procedentes de distintos afloramientos, hecho que podría deberse a la realización en dos fases del panel de la escena de caza o, por el contrario, relacionarse con diferencias composicionales de pigmentos altamente heterogéneos extraídos del mismo afloramiento, en cuyo caso la pintura de este panel podría ser sincrónica en todos sus elementos.

Las técnicas de análisis de imagen a partir de fotografías digitales convencionales pueden resultar una herramienta analítica útil para diferenciar cualitativamente distintas composiciones químicas empleadas en la pintura de paneles rupestres, erigiéndose en un método de bajo coste tanto para la documentación de paneles como para la elaboración de estrategias de conservación.

4.5

Calcos digitales del núcleo de arte rupestre de Faia (Cidadelhe, Portugal)

4.5.1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de técnicas de análisis digital de imágenes a diferentes áreas científicas tales como las ciencias biomédicas, la prospección geológica o la teledetección espacial es en la actualidad una importante herramienta para la obtención, gestión y explotación de datos analíticos que encuentra campos de aplicación cada vez más extensos. Como ya se comentó en varios lugares, a pesar de que el uso de estas técnicas puede constituir una importante fuente de obtención de datos explotables tanto desde el punto de vista estrictamente arqueológico como desde puntos de vista más

patrimonialistas, interesados en los aspectos relativos a la conservación, en lo que toca al arte rupestre no se han hecho prácticamente aplicaciones que superen el umbral del retoque fotográfico, fundamentalmente con herramientas informáticas basadas en o similares a el software Adobe Photoshop. Las potencialidades del análisis digital de imagen son, no obstante, muchas, como hemos puesto de relieve en otros lugares (ROGERIO-CANDELERIA 2009 b, 2010 b) y hemos venido comprobando a lo largo de los diferentes capítulos de esta Tesis Doctoral, tanto para la obtención de datos analíticos como para la elaboración de calcos ajustados a la realidad, una tarea que, cuando se efectúa con métodos tradicionales consume por lo general mucho tiempo y, en muchos casos, no está exenta de subjetividad además de constituir una fuente de riesgos para la integridad del bien (CARRERA RAMÍREZ 2002, ROGERIO-CANDELERIA 2010 a).

Como ha podido comprobarse en capítulos anteriores, una de las posibilidades del análisis digital de imagen aplicado a motivos de arte rupestre consiste en la mejora de la visualización en motivos poco visibles a simple vista por medio de la aplicación de algoritmos de descorrelación digital de imágenes. Para estos fines, el análisis de Componentes Principales es una herramienta de primer orden, puesto que, sin pérdida de información con respecto a los datos de las imágenes originales, permite la explicación de cantidades progresivamente menores de varianza en cada una de las bandas resultantes.

En este capítulo se aplica una estrategia que implica la descorrelación de los niveles digitales de fotografías convencionales RGB mediante análisis de Componentes Principales y la elaboración de imágenes en falso color a partir de las bandas resultantes para mejorar la visualización de varios paneles rupestres, posteriormente clasificarlas por métodos supervisados y terminar elaborando calcos vectoriales de los diferentes motivos.

4.5.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.5.2.A. LUGAR DE MUESTREO

El núcleo de arte rupestre de Faia (Cidadelhe, Portugal) se encuadra entre las manifestaciones parietales al aire libre declaradas Monumento Nacional e inscritas en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1998 como “Arte Rupestre del valle del Côa”. Nuestro lugar de estudio se inscribe en un contexto geográfico dominado por macizos graníticos que, cortados por el río, forman un cañón profundo y estrecho. En este corredor, y particularmente a partir del inicio de su estrangulamiento, en el sentido Norte-Sur, se sitúan las rocas al aire libre en las que se emplazan las manifestaciones parietales (Figura 4.5.1) El acceso es difícil y condicionado por el nivel de las aguas del río Côa, haciéndose casi imposible en inviernos lluviosos. Sin excepción, todas las representaciones parietales de este núcleo se sitúan en la margen izquierda del río.

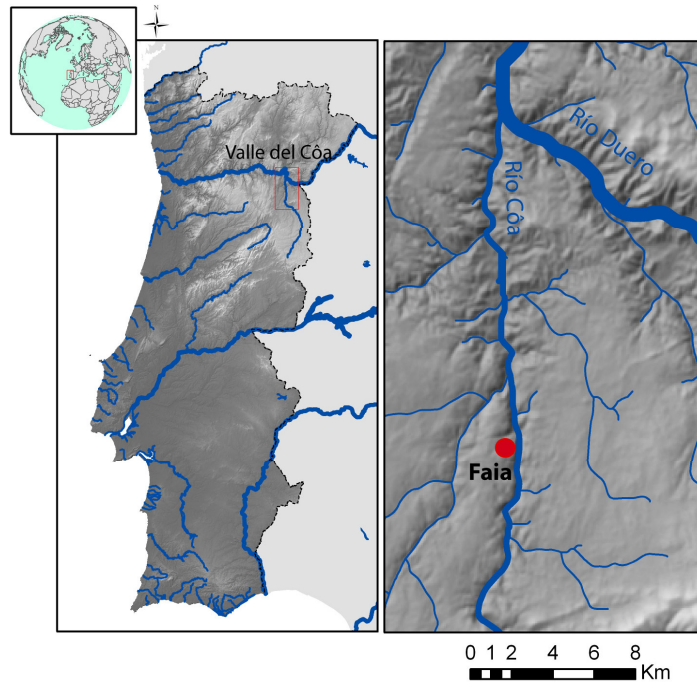


Figura 4.5.1. Ubicación geográfica del núcleo de arte rupestre de Faia.

A diferencia del resto de las manifestaciones rupestres del Côa, grabadas en su gran mayoría, la técnica de realización de los paneles de Faia es la pintura con ocre rojo. Los paneles que constituyen el objeto de este trabajo se sitúan en la Roca 1. Se trata de un panel con dos bóvidos seminaturalistas (Figuras 4.5.2 y 4.5.3) y otro con una figura antropomorfa semiesquemática (Figuras 4.5.4 y 4.5.5). La contextualización cronológica de los motivos postpaleolíticos pintados de Faia es bastante discutible. A los calcos realizados en los años noventa del siglo pasado, han seguido pocos estudios interesados en comprender mejor estas manifestaciones artísticas. Diferentes estilísticamente del conjunto dominante, los paneles aquí tratados presentan, de acuerdo con SANCHES (2003: 160), características propias del arte de las poblaciones del Mesolítico/Neolítico peninsular. Para otros autores, tanto el panel de los bóvidos como la figura antropomorfa se encuadrarían en el “Estilo V”, entrando así en cronologías holocenas relacionadas culturalmente con modos de producción epipaleolíticos (BUENO RAMÍREZ *et alii* 2007 b). Otras interpretaciones destacan la semejanza entre los bóvidos seminaturalistas y la figura antropomórfica semiesquemática con los modelos de la pintura levantina, situándolos cronológicamente en una fase antigua del Neolítico (CARVALHO 1999: 66). Otras interpretaciones recientes (BAPTISTA 1999, 2009, FIGUEIREDO 2009) apuntan también a un período correspondiente al Neolítico antiguo. Futuros estudios centrados en el arte esquemático del nordeste portugués permitirán obtener otros datos que sin duda acudirán en apoyo de nuevas interpretaciones para las pinturas postpaleolíticas de Faia.



Figura 4.5.2. Bóvidos de la Roca 1 de Faia. Fotografia de P. Guimarães.



Figura 4.5.3. Calco elaborado con métodos tradicionais del conjunto de bóvidos de la Roca 1 de Faia.



Figura 4.5.4. Figura antropomorfa de la roca 1 de Faia. Fotografía de P. Guimarães.



Figura 4.5.5. Calco tradicional del antropomorfo de la Roca 1 de Faia.

4.5.2.B. ANÁLISIS DE IMAGEN

A partir de imágenes digitales convencionales de tres bandas de 2912 x 4368 píxeles y resolución vertical y horizontal de 240 dpi capturadas con una cámara digital Canon EOS 5D, se calcularon las Componentes Principales (CP) por el método de la matriz de covarianzas. Utilizando las CP minoritarias (segunda y tercera) como bandas RGB se elaboraron imágenes en falso color para permitir la mejora de la visualización de los motivos. Para el cálculo de las CP y la elaboración de imágenes en falso color se utilizó el software *HyperCube* (Army Geospatial Center, Estados Unidos). A partir de las bandas de CP más

apropiadas y de las imágenes en falso color, convertidas a escala de grises, se elaboraron imágenes binarias utilizando el software *ImageJ* (National Institutes of Health, Estados Unidos). Los resultados se vectorizaron utilizando *CorelDRAW Graphic Suite X3* (Corel Corporation, Canadá). El resultado de la vectorización se exportó en formato .dwg para asegurar su compatibilidad con software CAD. La Figura 4.5.6. resume los protocolos de trabajo utilizados, producto de la optimización de los empleados en un trabajo anterior (ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2010 b).



Figura 4.5.6. Protocolo empleado para el análisis de imagen en este capítulo.

4.5.3. RESULTADOS

4.5.3.A. GRUPO DE LOS BÓVIDOS

La aplicación del protocolo ya descrito a fotografías digitales del panel de los bóvidos de la Roca 1 de Faia permitió elaborar, como resultado final, un calco vectorial detallado de las dos

representaciones. El análisis de Componentes Principales mostró que la imagen original estaba altamente correlacionada, lo que se traduce en que la mayor parte de la información se recoge en la banda correspondiente a la Componente Principal 1 (96,37%), mientras que las Componentes Principales minoritarias explican, respectivamente un 3,44 y un 0,19% de la información (Tabla 4.5.1). Visualmente, las bandas producto del Análisis de Componentes Principales muestran que la tercera CP es la que separa mejor la cubierta pictórica, aunque la señal reflejada por algunos líquenes foliáceos del centro de la imagen aparece codificada en niveles de gris semejantes a los de las figuras pintadas (Figura 4.5.7). Por el contrario, la respuesta espectral en la segunda Componente Principal ayuda a distinguir claramente entre pintura y líquenes, ya que los niveles de gris que corresponden a las áreas pintadas se distribuyen en el intervalo [160-180], mientras que en las zonas correspondientes a los líquenes, los niveles de gris varían entre 0 y 110. Para elaborar el calco, minimizando la información redundante que impide una correcta visualización, pareció aconsejable utilizar las dos componentes minoritarias, con las que se elaboró una imagen en falso color utilizando dos veces la banda que definía mejor la pintura (CP3).

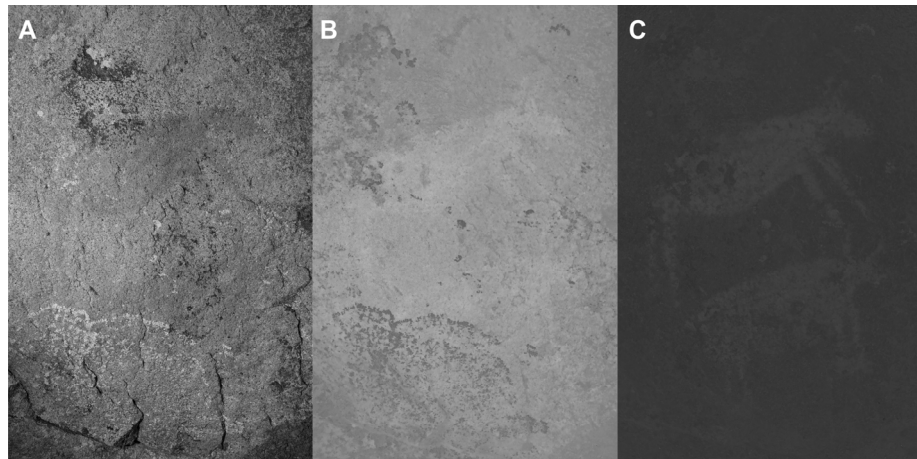


Figura 4.5.7. Bandas producto del análisis de Componentes Principales de una imagen del panel de los bóvidos. (A) CP1, (B) CP2, (C) CP3.

Tabla 4.5.1. Autovalores obtenidos al calcular las Componentes Principales de la imagen del panel de los bóvidos.

Componente Principal	Autovalor	Covarianza explicada (%)
1	2,59E+08	96,37
2	9,24E+06	3,44
3	5,24E+05	0,19

La imagen resultante (Figura 4.5.8) permite definir, con tan sólo el 3,63% de la información recogida en la imagen original, de un lado la pintura y, de otro, las diferentes comunidades líquénicas que proliferan sobre la roca, afectando no sólo al soporte sino también al panel pictórico. El resto de la información contenida en la imagen original se relaciona con el microrelieve y el tono general de la roca soporte. A partir de este punto, la elaboración del calco fue relativamente sencilla, y consistió en la conversión a escala de grises de la imagen en falso color y la binarización a partir de la selección de los intervalos de gris pertinentes para separar las manifestaciones pintadas de las diferentes cubiertas bióticas. El resultado se almacenó en imágenes binarias diferentes.

Las imágenes binarias obtenidas constituyen la base para la vectorización de las diferentes cubiertas incluidas en el calco. La vectorización separada de las mismas permite la creación de cubiertas gestionables con sistemas de información geográfica o entornos CAD (Figura 4.5.9), permitiendo bien el trabajo con cada una de las diferentes cubiertas por separado, bien la elaboración del equivalente a los mapas temáticos del sistema en el que se incluyen las manifestaciones rupestres, bien la elaboración de calcos bidimensionales asimilables a los elaborados tradicionalmente con métodos de contacto (Figura 4.5.10).

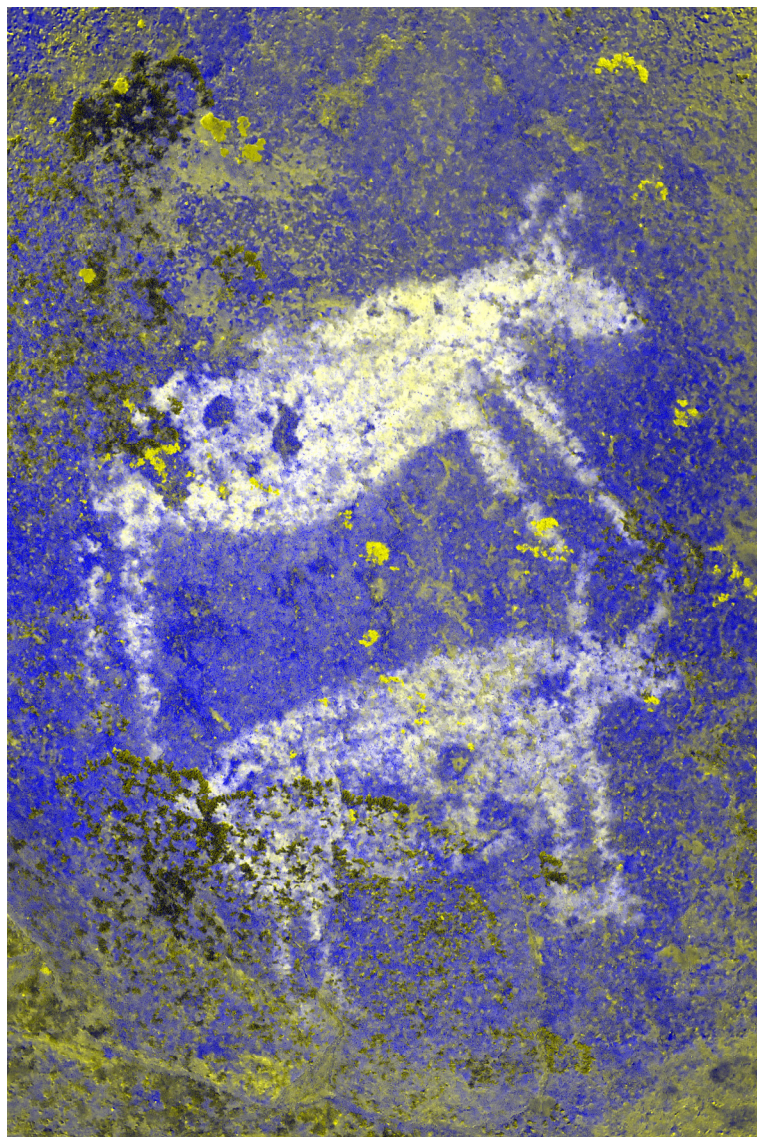


Figura 4.5.8. Imagen en falso color del grupo de los bóvidos elaborada a partir de las CP minoritarias (CP3, CP3, CP2).



Figura 4.5.9. Resultado de la vectorización automática de la cubierta pictórica del panel de los bóvidos de Faia.



Figura 4.5.10. Cubierta vectorial de la capa pictórica superpuesta a la microtopografía de la roca soporte del panel de los bóvidos.

4.5.3.B. FIGURA ANTROPOMORFA

La estrategia de análisis de imagen para la figura antropomorfa fue en esencia la misma que para el panel de los bóvidos. Se optó, no obstante, por trabajar sólo con la parte de la imagen en la que presuponíamos la existencia de pintura según lo mostrado en el calco (Figura 4.5.5), puesto que la presencia de una grieta profunda en el soporte producía tonos muy oscuros que distorsionaban el resultado final. Siguiendo este enfoque, la tercera CP se mostró como la más relevante para destacar la presencia de pintura (Figura 4.5.11). Como muestra la Tabla 4.5.2, esta CP reflejaba un 0,08% de la información presente en el área de la selección efectuada, contra un 98,3% de la primera y un 1,62% de la segunda. Las imágenes en falso color construidas como en el caso de los bóvidos, permitían una buena apreciación de la pintura, aunque la definición de la zona baja requirió el recurso de trabajar con la zona inferior de la imagen y posteriormente elaborar mosaicos (Figura 4.5.12). Para la elaboración del calco vectorial se utilizó, no obstante, tan sólo la imagen correspondiente a la tercera CP, ya que la pintura aparecía suficientemente contrastada. El procedimiento empleado consistió, de nuevo, en la selección de los niveles de gris que definían la pintura en esta Componente principal y la obtención de una imagen binaria. Con posterioridad, se vectorizó automáticamente la imagen binaria, obteniéndose una capa vectorial que se exportó, nuevamente, en formato .dwg (Figura 4.5.13). El calco vectorial obtenido se muestra en la Figura 4.5.14.

Tabla 4.5.2. Autovalores obtenidos al calcular las Componentes Principales de la imagen del panel del antropomorfo.

Componente Principal	Autovalor	Covarianza explicada (%)
1	2,62E+08	98,30
2	4,32E+06	1,62
3	2,22E+05	0,08

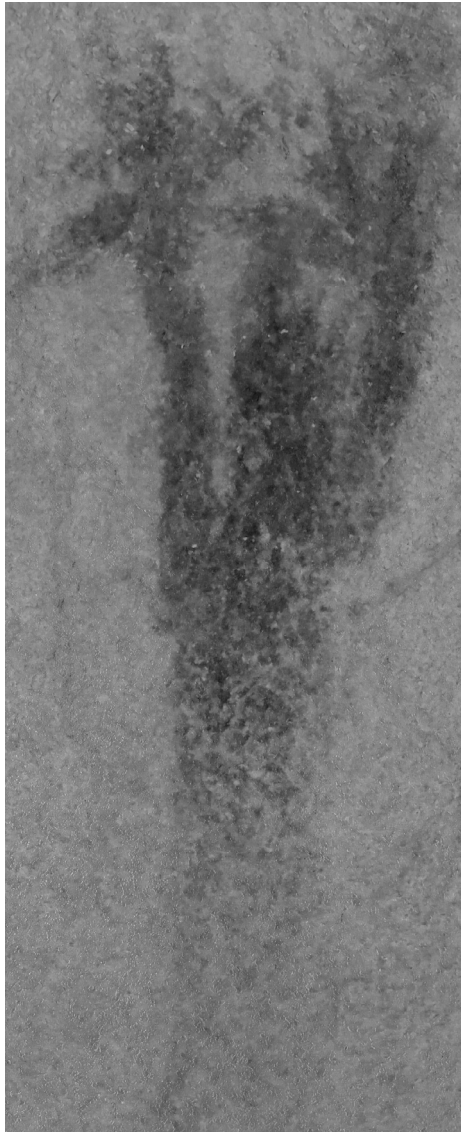


Figura 4.5.11. Banda correspondiente a la tercera Componente Principal de uno de los fotogramas empleados para elaborar el calco del antropomorfo.

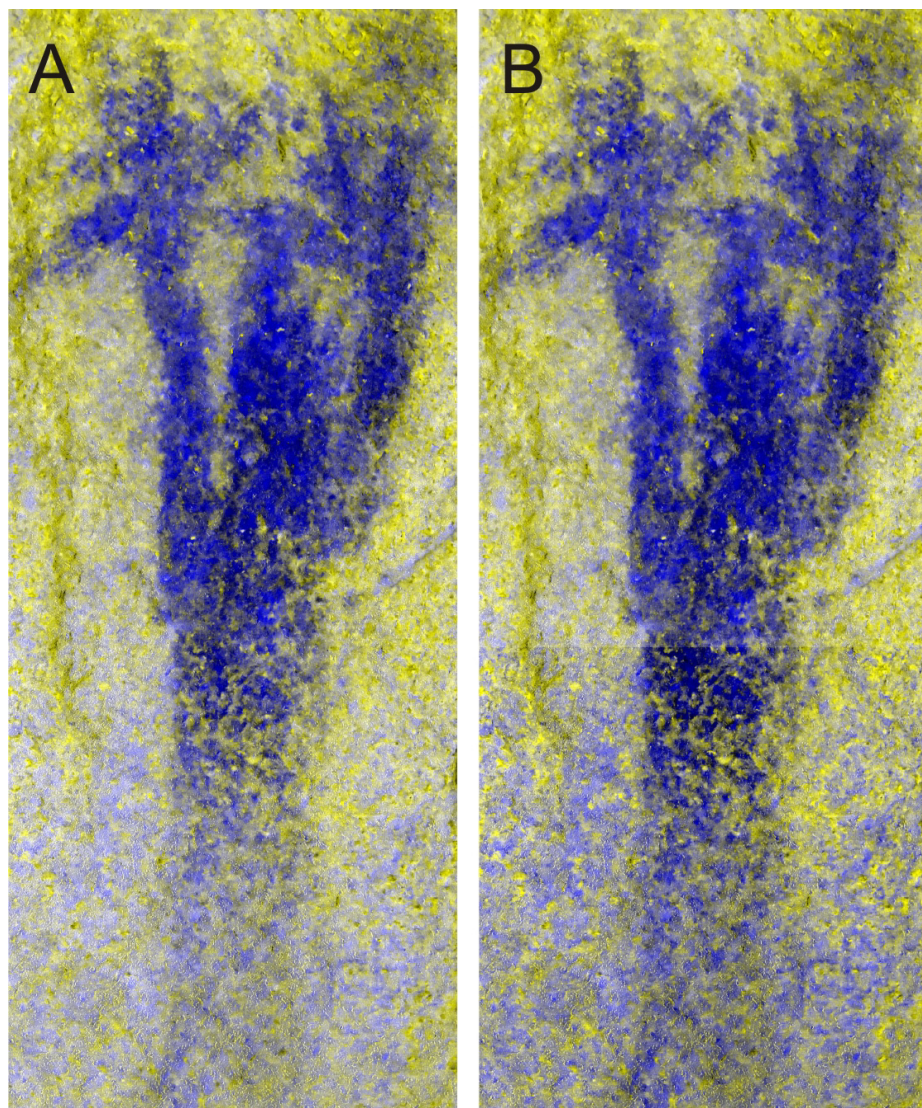


Figura 4.5.12. A. Imagen en falso color elaborada a partir de las Componentes Principales minoritarias de un fotograma de la figura antropomorfa (CP3, CP3, CP2). B. Mosaico de dos imágenes en falso color elaboradas a partir de las mismas bandas.



Figura 4.5.13. Resultado de la vectorización de la imagen binaria de la figura antropomorfa.



Figura 4.5.14. Calco vectorial de la figura antropomorfa.

La colonización liquénica, en lo que afecta a esta figura, ocupa una superficie mucho menor que en el caso del panel de los bóvidos. La segunda Componente Principal es la que permite una detección más certera de esta cubierta, si bien con alguna información topográfica que se confunde con el gris más oscuro de los líquenes. La imagen en falso color elaborada con las tres CP aclara la cuestión, dejando en tonos azulados las sombras producto de la microtopografía del soporte y en tonos rosados la señal correspondiente a la colonización liquénica (Figura 4.5.15).

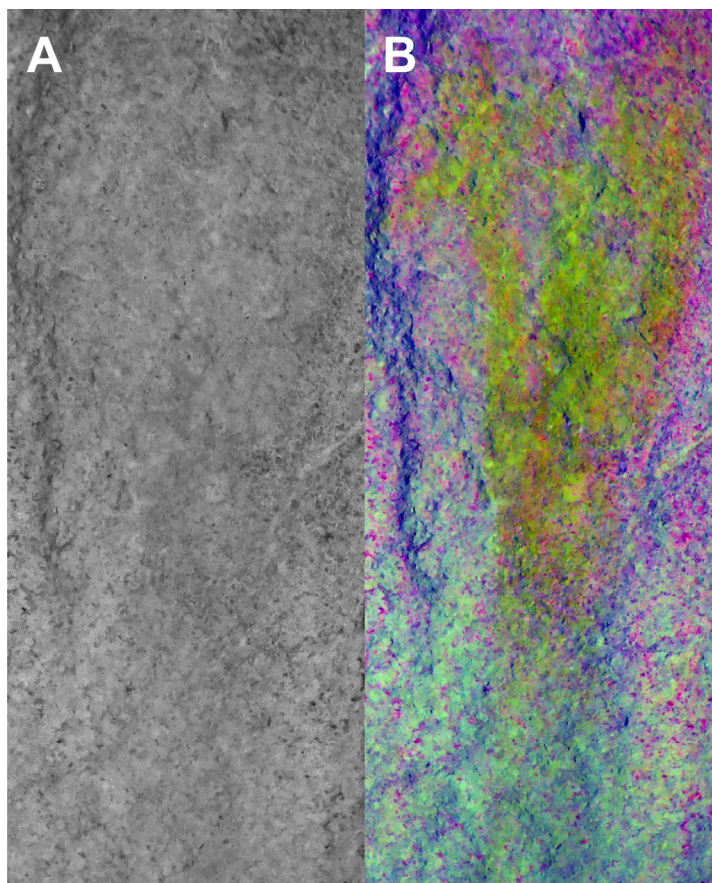


Figura 4.5.15. (A) Segunda CP de la imagen del antropomorfo, (B) Falso color (CP1, CP2, CP3) que muestra, en tonos rosáceos, la extensión de la colonización por líquenes.

4.5.4. DISCUSIÓN

La cuestión de lo que debe o no reflejar un calco permanece abierta. En buena lógica, la información recogida en un calco debe resultar de utilidad para alcanzar los objetivos del trabajo que se lleve a cabo. En muchas ocasiones, los calcos son el medio casi exclusivo de publicar el arte rupestre, por lo que la información recogida en ellos debería ser lo más exhaustiva posible. Tradicionalmente, el calco se entiende

como una reproducción lo suficientemente fiable de los motivos rupestres, elaborada para el conocimiento del mismo y la comparación con otros motivos. En este tipo de calcos, que podríamos llamar clásicos a pesar de que las soluciones adoptadas son casi tan amplias como el número de investigadores que se han dedicado al arte rupestre, casi sólo tiene cabida la reproducción de los motivos, que aparecen en muchas ocasiones descontextualizados de su entorno físico. La roca soporte se representa en algunos casos como un mero fondo en el que situar las manifestaciones, a veces complicando su lectura. Enfoques recientes hacen hincapié en la necesidad de representar las líneas estructurales más relevantes del soporte (así, por ejemplo, DOMINGO SANZ y LÓPEZ MONTALVO 2002, LÓPEZ MONTALVO y DOMINGO SANZ 2009), con lo que se aporta una información adicional importante cuando se trata de elaborar estrategias de conservación o explicar los procesos tafonómicos que han tenido lugar (ROGERIO-CANDELERÁ 2010 b). Sin embargo, otro tipo de información relevante, como es la presencia de elementos de carácter biótico susceptibles de producir el biodeterioro de las manifestaciones rupestres, brilla por su ausencia en los calcos.

El concepto de *calco integral* que hemos defendido en otros lugares (ROGERIO-CANDELERÁ 2008, 2009) parte de considerar las representaciones rupestres como uno más de los elementos abióticos de sistemas naturales complejos. Dentro de la lógica de este enfoque, la representación de uno o dos de los elementos integrantes del sistema carece de sentido, puesto que son muchos los factores representables espacialmente que tienen influencia, por separado o de manera sinérgica, en la homeostasis del mismo o, por el contrario, en su destrucción. La acción de los elementos de un sistema no se lleva a cabo siempre y en todos los lugares, sino que es función de la posición relativa que ocupen en el mismo (MARGALEF 1982). Por ello, la representación de los elementos que identifiquemos como relevantes para la conservación cobra una importancia crucial.

Desde este punto de vista conservacionista, no se trata tan sólo de identificar las posibles amenazas, sino de detectar los lugares donde estas pueden estar actuando. Sólo así es posible plantear estrategias

tanto reactivas como proactivas de conservación de una manera fundada. La delimitación del área que ocupan los líquenes que proliferan sobre las manifestaciones parietales objeto de nuestro estudio debe, por una parte, complementarse con la identificación de la o las especies a las que pertenecen, para poder así valorar la incidencia de esta cubierta biológica. En este sentido, cabe resaltar que, independientemente de los deterioros de tipo estético que la proliferación de líquenes pueda producir, la amplitud del deterioro producido por estos variará en función del tipo de sustrato, las especies presentes y las condiciones ambientales, incluyendo entre estas la contaminación atmosférica o del suelo (DANDRIDGE y MEEN 2007). De particular interés para la conservación de las pinturas rupestres es la interacción entre los ácidos excretados por los líquenes, el soporte en el que éstas se encuentran, y la capa pictórica misma, en general de un grosor limitado a unas pocas micras.

La utilización de técnicas de análisis de imagen para la obtención del calco de los motivos pintados en Faia se justifica por la alta correlación visual de los motivos con respecto a la roca soporte. Si bien los procedimientos de aumento del contraste mediante técnicas de retoque fotográfico son suficientemente buenos para mejorar la visualización de figuras poco correlacionadas (así, por ejemplo, MAURA y CANTALEJO 2004, 2005), no ocurre lo mismo cuando es difícil distinguir la pintura del soporte debido a la semejanza de sus colores. En estos casos, es posible cometer errores de clasificación, ligados a la pérdida de los valores extremos del histograma. Por el contrario, las técnicas de descorrelación visual se erigen en una herramienta básica que permite mayor seguridad en los resultados con un menor coste de tiempo, y con la posibilidad de detectar “anomalías” tales como los repintes o la utilización de diferentes pigmentos (ROGERIO-CANDELERIA 2010 b, ROGERIO-CANDELERIA *et alii* 2009 b)

La fiabilidad de un calco de tipo tradicional, por otra parte, debe ponerse en entredicho cuando se trata de motivos difícilmente visibles o, en otras palabras, con un alto grado de correlación visual. Así, en el caso que nos ocupa, el calco tradicional de los bóvidos representado en la Figura 4.5.3 se asemeja mucho al elaborado mediante técnicas de análisis de imagen (Figura 4.5.10), lo que es

congruente con el grado de correlación visual que presenta esta imagen (Tabla 4.5.1). No ocurre lo mismo con el antropomorfo, cuyos fotogramas presentan mayor correlación visual (Tabla 4.5.2), lo que se traduce en mayores dificultades para percibirlo y, por tanto, para registrarlo. Las diferencias se hacen patentes si comparamos el calco de la Figura 4.5.5 con la Figura 4.5.14.

4.5.5. CONCLUSIONES

Las herramientas de análisis de imagen que utilizamos en este trabajo se han aplicado de manera escasa a la reproducción, estudio y conservación del arte rupestre. Por el contrario, predominan como herramientas de reproducción el calco directo y últimamente, el empleo de técnicas de retoque fotográfico que producen, en general, resultados mediocres cuando se trata de imágenes con un alto grado de correlación visual.

Como se demuestra en este caso de estudio, utilizando técnicas de descorrelación de imágenes es posible elaborar calcos digitales de manera rápida y precisa incluso cuando la visualización de las imágenes es difícil.

Por otra parte, el carácter no invasivo de las técnicas de análisis de imagen y la capacidad de estas para representar gráficamente cubiertas, a veces considerablemente extensas, de manera rápida y barata (en términos económicos y de tiempo empleado), las convierte en una herramienta de gran importancia desde el punto de vista de la conservación.

5

Conclusiones

Los resultados del trabajo desarrollado nos permiten establecer las siguientes conclusiones generales:

- 1.- La concepción de las manifestaciones parietales como partes abióticas integrantes de sistemas naturales complejos facilita la comprensión de los procesos actuantes y permite tanto recapitular la historia del panel como anticipar los mecanismos que facilitarán su conservación o, por el contrario, acelerarán su destrucción.
- 2.- En todo sistema natural, y por supuesto en los que se integran manifestaciones parietales, la contingencia juega un papel que no puede desdeñarse, toda vez que impactos casuales, no incluibles en el sistema pueden tener consecuencias importantes.

3.- Desde el punto de vista de la conservación, el conocimiento del soporte y de los diferentes elementos del sistema es tan importante como la definición del elemento cultural del mismo. El calco debe ser, para resultar útil a una amplia gama de propósitos, integral.

4.- Los calcos integrales se convierten en una importante herramienta para la investigación, pero también para la conservación y gestión del arte rupestre. Todo calco es una imagen interpretada de la realidad, por lo que para elaborar un calco que defina un sistema con un adecuado margen de precisión parece aconsejable emplear un enfoque transdisciplinar.

5.- Los métodos de análisis de imagen se erigen en una alternativa fiable, rápida, barata y no invasiva para acometer la documentación integral de las manifestaciones rupestres.

6.- Puesto que existe la posibilidad de documentar el arte rupestre con métodos no invasivos, el uso de metodologías de registro que impliquen el contacto con los bienes a documentar no parece sostenible desde un punto de vista ético.

7.- La heterogeneidad de las manifestaciones parietales impide el establecimiento de un protocolo general aplicable a todos los casos y situaciones. Por el contrario, las técnicas de análisis de imagen deben elegirse en consonancia con los objetivos de la intervención y las características del bien a documentar.

8.- La aplicación de técnicas de clasificación de imágenes digitales constituye un camino prometedor para la documentación de los sistemas naturales en los que se enmarcan las pinturas rupestres. Sin embargo, para poder ser realmente útiles se precisan datos que abarquen un amplio rango espectral.

9.- Las técnicas de descorrelación de imágenes digitales y, en particular, el análisis de Componentes Principales, se erigen en una herramienta de gran utilidad para diferenciar cubiertas relevantes para la documentación integral del arte rupestre. Se abre la puerta

con ellas a la detección de diferencias en la composición química en la propia pintura, así como a la identificación de cubiertas bióticas de interés para la conservación del bien y a su monitorización a lo largo del tiempo.

10.- El uso combinado de técnicas de descorrelación y algoritmos de clasificación digital permite una aproximación a la realidad de los paneles mucho más certera que cuando estas técnicas se utilizan por separado.

11.- La vectorización de las diferentes cubiertas es, por una parte, el paso final para estas estrategias de documentación puesto que facilita su gestión mediante herramientas relacionales como los sistemas de información geográfica, permitiendo una gran variedad de formatos de salida. Por otra, es el paso previo para acometer, utilizando estos mismos sistemas, estudios encaminados a la investigación o a la conservación.

12. Los trabajos incluidos en esta memoria como estudios de caso han permitido obtener resultados prácticos muy relevantes, tales como la diferenciación y monitorización de colonizaciones microbianas que afectan a pinturas rupestres, la mejora en la visualización de paneles rupestres, la diferenciación de figuras en función de la composición química de los pigmentos empleados para su realización y la elaboración de calcos digitales de tipo vectorial de pinturas rupestres, en localizaciones exteriores, abrigos y cuevas, y todo ello de manera respetuosa con la conservación de los bienes y con una gran economía de tiempo y dinero.

6

Bibliografía

ABDELAHAD, N. 1989. "On four *Myxosarcina*-like species (Cyanophyta) living in the Infierniglio cave (Italy)". *Archiv für Hydrobiologie, Supplement Algological Studies* 54: 3-13.

ACOSTA MARTÍNEZ, P. 1968. *La pintura rupestre esquemática en España*. Salamanca: Universidad de Salamanca.

ACOSTA MARTÍNEZ, P. 1983. "Técnicas, estilo, temática y tipología en la pintura rupestre esquemática hispana". *Zephyrus* XXXVI: 13-25.

AGAROSI, G., FERRARI, R. y MONTE, M. 1985. "Microbial biodeterioration in the hypogea: the subterranean Neo-Phytagorean Basilica of Porta

Maggiore in Rome". En G. Felix (ed.) *Proceedings of the 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*: 597-605. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes.

AIRA, N., JURADO, V., PRIETO, B. y SILVA, B. 2007. "Gas chromatography applied to Cultural Heritage. Analysis of dark patinas on granite surfaces". *Journal of Chromatography A* 1147: 79-84.

ALAKOMI, H.L., ARRIEN, N., GORBUSHINA, A.A., KRUMBEIN, W.E., MAXWELL, I., MCCULLAGH, C., ROBERTSON, P., ROSS, N., SAARELA, M., VALERO, J., VENDRELL, M., y YOUNG, M.E. 2004. "Inhibitors of biofilm damage on mineral materials (Biodam)". En: D. Kwiatkowski y R. Löfvendahl (eds.) *Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*: 399-406. Estocolmo: ICOMOS.

ALBERTANO, P. y URZÍ, C. 1999. "Structural interactions among epilithic cyanobacteria and heterotrophic microorganism in Roman hypogea". *Microbial Ecology* 38: 244-252.

ALBERTANO, P., MOSCONE, D., PALLESCHI, G., HERMOSIN, B., SAIZ-JIMENEZ, C., SANCHEZ-MORAL, S., HERNANDEZ-MARINÉ, M., URZÍ, C., GROTH, I., SCHROECKH, V., SAARELA, M., MATTILA-SANDHOLM, T., GALLON, J.R., GRAZIOTTIN, F., BISCONTI, F. y GIULIANI, R. 2003. "Cyanobacteria attack rocks (CATS): Control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman hypogean monuments". En C. Saiz-Jimenez (ed.) *Molecular Biology and Cultural Heritage*: 151-162. Lisse: Balkema.

ALCOLEA GONZÁLEZ, J. y DE BALBÍN BEHRMANN, R. 2006. *Arte paleolítico al aire libre. El yacimiento rupestre de Siega Verde, Salamanca*. Valladolid: Junta de Castilla y León.

ALCOLEA GONZÁLEZ, J.J. y DE BALBÍN BEHRMANN, R. 2007. "¹⁴C et style. La chronologie de l'art pariétal à l'heure actuelle". *L'Anthropologie* 111(4): 435-466.

ALLOZA IZQUIERDO, R., HERNANZ GISMERO, A., RUIZ LÓPEZ, J.F., GAVIRA VALLEJO, J.M. y ROWE, M.W. 2010. "Composición, microestratigrafía y

datación de pinturas rupestres del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica". *Actas del Congreso Internacional "Datando el Arte Rupestre: el Arco Mediterráneo peninsular entre el absoluto y el relativo". Barcelona, 17-19 junio 2009* (en prensa).

ALMAGRO BASCH, M. y ALMAGRO GORBEA, M. 1968. *Estudios de arte rupestre nubio. I. Yacimientos situados en la orilla oriental del Nilo, entre Nag Kolorodna y Kars Ibrim (Nubia egipcia)*. Madrid: Memorias de la Misión Arqueológica Española en Egipto, X.

ALMAGRO GORBEA, A. 2002. "Técnicas infográficas en el estudio del Patrimonio Cultural". En A. Ruiz Conde y P.J. Sánchez Soto (eds.) *Técnicas instrumentales y su aplicación al estudio del Patrimonio Histórico y Cultural*: 19 p. Sevilla: CSIC.

ALONSO, A. y GRIMAL, A. 1994. "Comentarios sobre el sector septentrional del Arte Levantino". *Bolskan* 11: 9-31.

ALONSO, A. y GRIMAL, A. 1996. *El arte rupestre prehistórico de la cuenca del río Taibilla (Albacete y Murcia): nuevos planteamientos para el estudio del Arte Levantino*. Barcelona.

ALONSO, A. y GRIMAL, A. 2004. "Prospecciones y estudios sobre arte rupestre prehistórico en la comarca del altiplano, término municipal de Yecla: IV campaña, año 2003". En *Resumen de las XV Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología de la Región de Murcia*: 41-42. Murcia: Consejería de Educación y Cultura.

ALTIERI, A. y RICCI, S. 1997. "Calcium uptake in mosses and its role in stone biodeterioration". *International Biodeterioration & Biodegradation* 40: 201-204.

AMANN, R.L., LUDWIG, W. y SCHLEIFER, K.H. 1995. "Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation". *Microbiological Reviews* 59: 143-169.

APARICIO PÉREZ, J. 1977. "Incisiones rupestres fusiformes en la cuenca del Mediterráneo occidental". *Trabajos de Prehistoria* 34: 313-326.

APELLÁNIZ, J.M. 2004. "La interpretación del arte Paleolítico mediante la hipótesis de la evolución de los estilos o mediante las de la forma y atribución de autoría". *Trabajos de Prehistoria* 61(1): 63-79.

ARCÀ, A. 2000. "Computer management of alphanumeric and visual data in the Alpine rock art (Valcamonica – Valtelina – Western Alps)". *Arkeos. Perspectivas em diálogo* 7: 55-74.

ARIÑO, X. 1996. *Estudio de la colonización, distribución e interacción de líquenes, algas y cianobacterias con los materiales pétreos de los conjuntos arqueológicos de Baelo Claudia y Carmona*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.

ARIÑO, X., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1996. "*Ctenocladus circinnatus* (Chlorophyta) in stuccoes from archaeological sites of southern Spain". *Phycologia* 35: 183-189.

ARIÑO, X., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1997. "Colonization of Roman tombs by calcifying cianobacteria". *Phycologia* 36: 366-373.

ASCASO, C., WIERZCHOS, J. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1998. "Study of the biogenic weathering of calcareous litharenite stones caused by lichen and endolithic microorganisms". *International Biodeterioration & Biodegradation* 42: 29-38.

ASENCIO, A.D., ABOAL, M. y HOFFMANN, L. 1996. "A new cave-inhabiting blue-green alga: *Symphyonema cavernicolum* sp. nova (Mastigocladaceae, Stigonematales)". *Archiv für Hydrobiologie, Supplement Algological Studies* 83: 73-82.

ATTAS, M., CLOUTIS, E., COLLINS, C., GOLTZ, D., MAJZELS, C., MANSFIELD, J.R. y MANTSCH, H.H. 2003. "Near-infrared spectroscopic imaging in art conservation: investigation of drawing constituents". *Journal of Cultural Heritage* 4: 127-136.

AUJOULAT, N. 1987. *Le relevé des œuvres pariétales paléolithiques. Enregistrement et traitement des données*. Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.

- AURA TORTOSA, J.E. 1983. "Aportaciones al estudio de La Sarga (Alcoy, Alicante)". *Lucentum: Anales de la Universidad de Alicante. Prehistoria, Arqueología e Historia Antigua* 2: 5-16.
- BAFFIER, D., GIRARD, M., MENU, M. y VIGNAUD, C. 1999. "La couleur à la grande grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne)". *L'Anthropologie* 103: 1-21.
- BAHN, P.G. 1994. "Some developments in Ice Age Art". *Complutum* 5: 197-202.
- BAHN, P.G. 1996. "Further back down under". *Nature* 383: 577-578.
- BAHN, P.G. 1998. *The Cambridge Illustrated History of Prehistoric Art*. Cambridge: Cambridge University Press.
- BALBÍN, R. de, ALCOLEA, J.J. y GONZÁLEZ, M.A. 2003. "El Macizo de Ardines, Ribadesella, España. Un lugar mayor del Arte Paleolítico Europeo". En R. de Balbín y P. Bueno (eds.) *Primer Symposium Internacional de Arte Prehistórico de Ribadesella*: 91-151. Ribadesella.
- BALDELLOU MARTÍNEZ, V. 1982. "Los abrigos pintados del río Vero". *Revista de Arqueología* 23: 6-13.
- BALDELLOU MARTÍNEZ, V. 1984. "El Arte Levantino del río Vero (Huesca)". En *Juan Cabré Aguiló (1882-1982). Encuentro de Homenaje*: 133-139. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- BALDELLOU MARTÍNEZ, V. 1985. "El arte rupestre postpaleolítico de la zona del río Vero". *Ars Praehistorica. Anuario Internacional de Arte Prehistórico* III-IV: 111-137.
- BALDELLOU MARTÍNEZ, V. 2000. "Art Rupestre a l'Aragó: noves línies d'investigació". *Cota Zero* 16: 85-95.
- BALDELLOU MARTÍNEZ, V. 2001. "Algunas consideraciones sobre el arte rupestre en Castellón". *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló* 22: 13-31.

BALDELLOU MARTINEZ, V. 2006. "El Arte Rupestre Prehistórico". En *Comarca de Somontano de Barbastro*: 55-66. Zaragoza: Gobierno de Aragón [Colección Territorio] [en línea] <http://www.comarcas.es/pub/documentos/documentos_II-1_8e9f592f.pdf> [Consulta 01/04/2008].

BALDELLOU, V., AYUSO, P., PAINAUD, A. y CALVO, M.J. 2000. "Las pinturas rupestres de la partida de Muriecho (Colungo y Bárcabo, Huesca)". *Bolskan* 17: 33-86.

BARANDIARÁN, I. 1987. "Algunos temas no figurativos del arte mueble prehistórico (a propósito de las placas grabadas de La Cocina)". *Archivo de Prehistoria Levantina* XVII: 57-79.

BARONTI, S., CASINI, A., LOTTI, F. y PORCINAI, S. 1997. "Principal component analysis of visible and near-infrared multispectral images of works of art". *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 39: 103-114.

BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009 a. "Bacteria and free-living amoeba in Lascaux Cave". *Research in Microbiology* 160: 38-40.

BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009 b. "Impact of biocide treatments on the bacterial communities of the Lascaux Cave". *Naturwissenschaften* 96: 863-868.

BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009 c. "The impact of arthropods on fungal community structure in Lascaux Cave". *Journal of Applied Microbiology* 106: 1456-1462.

BÉCARES PÉREZ, J. 1983. "Hacia nuevas técnicas de trabajo en el estudio de la pintura rupestre esquemática". *Zephyrus* XXXVI: 137-148.

BÉCARES PÉREZ, J., CACHIER, H., CORCHÓN RODRÍGUEZ, M.S., TISNERAT, N., ARNOLD, M y VALLADAS, H. 1996. "Datación de las pinturas y revisión del Arte Paleolítico de Cueva Palomera (Ojo Guareña, Burgos, España)". *Zephyrus* XLIX: 37-60.

BAPTISTA, A.M. 1999. *No tempo sem tempo: a arte dos caçadores paleolíticos do Vale do Côa*. Vila Nova de Foz Côa: Parque Arqueológico do Vale do Côa.

BAPTISTA, A.M. 2009. *O Paradigma Perdido: O Vale do Côa e a Arte Paleolítica em Portugal*. Oporto: Edições Afrontamento / Parque Arqueológico do Vale do Côa.

BEDNARIK, R.G. 2007. *Rock Art Science. The scientific study of Palaeoart*. Nueva Delhi: Aryan Books.

BEDNARIK, R.G. y SESHADRI, K. 1995. "Digital colour re-construction in rock art photography". *Rock Art Research* 12(1): 42-51.

BELL, R.A. 1993. "Cryptoendolithic algae of hot semiarid lands and deserts". *Journal of Phycology* 29: 133-139.

BELLO, J.M. y CARRERA, F. (1997). "Las pinturas del monumento megalítico de Dombate: estilo, técnica, composición". En A.A. Rodríguez Casal (ed.) *O Neolítico Atlántico e as orixes do Megalitismo. Actas do Coloquio Internacional (Santiago de Compostela, 1-6 de Abril de 1996)*: 819-828. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

BELTRÁN MARTÍNEZ, A. 1968. "Sobre la pintura rupestre levantina de un caballo cazado a lazo, del abrigo de Selva Pascuala, en Villar del Humo (Cuenca)". *Miscelánea ofrecida al Ilmo. Sr. Dr. José María Lacarra y de Miguel*: 19-22. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

BELTRÁN MARTÍNEZ, A. 1981. "Métodos de trabajo sobre el terreno en el arte rupestre". *Caesaraugusta* 53-54: 133-137.

BELTRÁN MARTÍNEZ, A. 1987. "La fase «pre-levantina» en el arte prehistórico español". *Archivo de Prehistoria Levantina* 17: 81-96.

BELTRÁN MARTÍNEZ, A. 2001. "Divagaciones sobre el arte postpaleolítico español: estado de la cuestión". *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló* 22: 33-43.

BELTRÁN MARTÍNEZ, A. 2005. *Corpus del arte rupestre del Parque Cultural del Río Martín*. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

BENITO, G., MACHADO, M.J. y SANCHO, C. 1993. "Sandstone weathering processes damaging prehistoric rock paintings at the Albarraçín Cultural Park, NE Spain". *Environmental Geology* 22: 71-79.

BERBERAN, A.L. 1999. "Semi-automatic correction of digital images of flat objects". En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c805.pdf>> [consulta 10/10/2006]

BERNALDO DE QUIRÓS, F. y CABRERA VALDÉS, V. 1994. "Cronología del arte Paleolítico". *Complutum* 5: 265-276.

BERNALDO DE QUIRÓS, F. y MINGO ÁLVAREZ, A. 2005. "La interpretación de los signos". En J.A. Lasheras y J. González Echegaray (eds.) *El significado del Arte Paleolítico*: 211-228. Santander: Ministerio de Cultura.

BERTHELIN, J. 1983. "Microbial weathering processes". En W.E. Krumbein (ed.) *Microbial geochemistry*: 223-262. Oxford: Blackwell.

BICHO, N., CARVALHO, A.F., GONZÁLEZ-SÁINZ, C., SANCHIDRIÁN, J.L., VILLAVARDE, V. y STRAUS, L.G. 2007. "The Upper Paleolithic Rock Art of Iberia". *Journal of Archaeological Method and Theory* 14(1): 81-151.

BRAYER, J.M., WALT, H. y DAVID, B. 1999. "Quantitative assessment of rock art recording". *Tracce* 11, [en línea], <<http://www.rupestre.net/tracce/newport.html>>, [consulta 3/8/2006].

BREUIL, H. 1905. "Essai de stratigraphie des dépôts de l'Age du Renne". En E. Rivière (ed.) *Premier Congrès Préhistorique de France*: 74-80.

BREUIL, H. 1906. "L'Age des peintures d'Altamira. A propós d'un article recent". *Revue Préhistorique* 8: 237-249.

BREUIL, H. 1952. *Quatre cents siècles d'art pariétal. Les cavernes ornées de l'Age du Renne*. Montignac: Centre d'Études et de Documentation Préhistoriques.

BREUIL, H. y OBERMAIER, H. 1935. *La Cueva de Altamira en Santillana del Mar*. Madrid: Junta de Cuevas de Altamira / The Hispanic Society of America / Academia de la Historia.

BRIMBLECOMBE, P. 2005. "Effects of the cultural environment". En R. Van Grieken y K. Janssens (eds.) *Cultural Heritage conservation and environmental impact assessment by non-destructive testing and micro-analysis*: 11-18. Londres: Taylor & Francis.

BUCHÓN MORAGUES, F.F., HERRÁEZ BOQUERA, J.A., LERMA GARCÍA, J.L., PONS CRESPO, R. y GALÍNDEZ HERNÁNDEZ, M. 2002. "Estudio fotogramétrico del abrigo de Cova Ribasals o Civil para la generación de la cartografía temática local y su análisis mediante Sistemas de Información Geográfica". *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España, 5-7 junio de 2002*, [en línea] <<http://departamentos.unican.es/digiteg/ingegraf/cd/ponencias/124.pdf>>, [consulta 31/10/2006].

BUENO RAMÍREZ, P. y DE BALBÍN BEHRMANN, R. 1992. "L'art Mégalithique dans la Péninsule Ibérique. Une vue d'ensemble". *L'Anthropologie* 96: 499-572.

BUENO RAMÍREZ, P. y DE BALBÍN BEHRMANN, R. 2006. "Arte megalítico en la península Ibérica: contextos materiales y simbólicos para el arte esquemático". En J. Martínez García y M.S. Hernández Pérez (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre Esquemático en la Península Ibérica. Comarca de Los Vélez, 5-7 de mayo 2004*: 57-84. Vélez-Blanco (Almería).

BUENO RAMÍREZ, P., DE BALBÍN BEHRMANN, R. y BARROSO BERMEJO, R. 2007 a. "Chronologie de l'art Mégalithique ibérique: C¹⁴ et contextes archéologiques". *L'Anthropologie* 111: 590-650.

BUENO RAMÍREZ, P., DE BALBÍN BEHRMANN, R. y ALCOLEA GONZÁLEZ, J.J. 2007 b: "Style v dans le bassin du Douro. Tradition et changement dans les graphies des chasseurs du Paléolithique Supérieur européen". *L'Anthropologie* 111: 549-589.

CACHO TOCA, R. y GÁLVEZ LAVÍN, N. 1997. "Aplicaciones de la fotografía digital en el estudio y reproducción de las pintura rupestres paleolíticas". *Edades: Revista de Historia* 2: 7-20.

CANTALEJO, P., MAURA, R., ESPEJO, M.M., RAMOS, J.F., MEDIANERO, J., ARANDA, A. y DURÁN, J.J. 2006. *La Cueva de Ardales: Arte prehistórico y ocupación en el Paleolítico Superior*. Málaga: Centro de Ediciones de la Diputación Provincial de Málaga.

CAÑAVERAS, J.C., HOYOS, M., SÁNCHEZ-MORAL, S., SANZ-RUBIO, E., BEDOYA, J., SOLER, V., GROTH, I., SCHUMANN, P., LAIZ, L., GONZALEZ, I., y SAIZ-JIMENEZ, C. 1999. "Microbial communities associated to hydromagnesite and needle fiber aragonite deposits in a karstic cave (Altamira, Northern Spain)". *Geomicrobiology Journal* 16: 9-25.

CAÑAVERAS, J.C., SÁNCHEZ-MORAL, S., SOLER, V. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2001. "Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls". *Geomicrobiology Journal* 18: 223-240.

CAÑAVERAS, J.C., LARIO, J., SÁIZ-JIMÉNEZ, C., LÁIZ, L., CUEZVA, S., SÁNCHEZ-MORAL, S., y GÓNZALEZ, J.M. 2006. "On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits". *Naturwissenschaften* 93: 27-32.

CARTAILHAC, E. 1902. "Les cavernes ornées de dessins, la grotte d'Altamira. *Mea culpa* d'un esceptique". *L'Anthropologie* 13: 348-354.

CARTAILHAC, E. y BREUIL, H. 1906. *La caverne d'Altamira à Santillana près Santander (Espagne)*. Mónaco: Imprimerie de Monaco.

CARRASCO, J. y PASTOR, M. 1983. "Aproximación al fenómeno rupestre esquemático en la cuenca alta del Guadalquivir". *Zephyrus* XXXVI: 167-180.

CARRASCO, J., CARRASCO, E., MEDINA, J. y TORRECILLAS, J.F. 1985. *El fenómeno rupestre esquemático en la cuenca alta del Guadalquivir. I: las sierras subbéticas*. Jaén: Amigos de la Arqueología Giennense.

CARRERA RAMÍREZ, F. 2002. "La protección del arte prehistórico ibérico, ¿misión imposible?". *ArqueoWeb*, vol. 4(3), [en línea], <http://www.ucm.es/info/arqueoweb/numero4_3/articulo4_3_proteccionarte.html>, [consulta 21/9/2006].

CARRERA, F. y FÁBREGAS, R. 2006. "Datación directa de pinturas megalíticas de Galicia". En F.Carrera y R. Fábregas (eds.) *Arte parietal megalítico en el noroeste peninsular. Conocimiento y conservación*: 37-60. Santiago de Compostela: Tórculo Edicións.

CARRERA, F., SURIOL, J. y SILVA, B. 2006. "Caracterización de materiales pictóricos en el megalitismo noroccidental". En F. Carrera y R. Fábregas (eds.) *Arte parietal megalítico en el noroeste peninsular. Conocimiento y conservación*: 233-261. Santiago de Compostela: Tórculo Edicións.

CARVALHO, A.F. 1999. "Os sítios de Quebrada e de Quinta da Torrinha (Vila Nova de Foz Côa) e o Neolítico antigo do Baixo Côa". *Revista Portuguesa de Arqueologia* 2(1): 39-70.

CAUMARTIN, V. 1963. "Review of the microbiology of underground environments". *National Speleology Society Bulletin* 25: 1-14.

CETICA, M., MARRAS, L., MATERAZZI, M. y POGGI, P. 2002. "Tecniche di imaging multispettrale". En A. Castellano, M. Martini y E. Sibilia (eds.) *Elementi di Archeometria. Metodi fisici per i Beni Culturali*: 205-226. Milán: Egea.

CHALMIN, E., VIGNAUD, C. y MENU, M. 2004 a. "Palaeolithic painting matter: natural or heat-treated pigment?". *Applied Physics A* 79: 187-191.

CHALMIN, E., MENU, M., POMIÈS, M-P., VIGNAUD, C., AUJOULAT, N. y GENESTE, J.M. 2004 b. "Les blasons de Lascaux". *L'Anthropologie* 108: 571-592.

CHALMIN, E., VIGNAUD, C., SALOMON, H., FARGES, F., SUSINI, J. y MENU, M. 2006 a. "Minerals discovered in paleolithic black pigments by transmission electron microscopy and micro-X-ray absorption near-edge structure". *Applied Physics A* 83: 213–218.

CHALMIN, E., FARGES, F., VIGNAUD, C., SUSINI, J., MENU, M. y BROWN JR., G.E. 2006 b. "Discovery of unusual minerals in Paleolithic black pigments from Lascaux (France) and Ekain (Spain)". En *13th International Conference on X-ray absorption fine structure (XAFS13)*, July 9-14, 2006, Stanford, California. SLAC-PUB-12224.

CHEN, J., BLUME, H. y BEYER, L. 1999. "Weathering of rocks induced by lichen colonization – a review". *Catena* 39: 121-146.

CHO, K.Y. y SALTON, M.R.J. 1969. "Fatty acid composition of the lipids of membranes of gram-positive bacteria and 'walls' of gram-negative bacteria". *Biochimica et Biophysica Acta* 84: 773-775.

CHUVIECO SALINERO, E. 2002. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel.

CIFERRI, O. 1999. "Microbial degradation of painting". *Applied and Environmental Microbiology* 65: 879-885.

CIHLAR, J., XIAO, Q., CHEN, J., BEAUBIEN, J., FUNG, K. y LATIFOVIC, R. 1998. "Classification by progressive generalization: a new automated methodology for remote sensing multichannel data". *International Journal of Remote Sensing* 19 : 2685-2704.

CLARK, R.N. 1995. "Reflectance spectra". En T.J. Ahrens (ed.) *AGU Reference Shelf 3, Rock Physics and Phase Relations, a Handbook of Physical Constants*: 178-188. Washington: American Geophysical Union.

CLOGG, P., DIAZ-ANDREU, M. y LARKMAN, B. 2000. "Digital image processing and the recording of rock art". *Journal of Archaeological Science* 27: 837-843.

CLOTES, J. 1993. "Documentation, recherche, publication et conservation. La collaboration internationale. Document de travail pour la discussion de la Table". En J. Fortea (ed.) *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991*: 165-167. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.

CLOTES, J. 1995. "Dates directes pour les peintures paléolithiques". *Préhistoire Ariègoise* 1994: 51-70.

CLOTES, J., VALLADAS, H., CACHIER, H. y ARNOLD, M. 1992. "Des dates pour Niaux et Gargas". *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 89: 270-274.

CLOTES, J. y COURTIN, J. 1993. *La Grotte Cosquer, peintures et gravures de la caverne engloutie*. Paris: Le Seuil.

CLOTES, J., CHAUVET, J.-M., BRUNEL-DESCHAMPS, E., HILLAIRES, C., DAUGAS, J.-P., ARNOLD, M., CACHIER, H., EVIN, J., FORTIN, P., OBERLIN, C., TISNERAT, N. y VALLADAS, H. 1995. "Les peintures de la Grotte Chauvet-Pont d'Arc, à Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche, France): datations directes et indirectes par la méthode du radiocarbone". *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences de Paris, Série IIa* 320: 1133-1140.

CLOTES, J., COURTIN, J. y VALLADAS, H. 1996. "Nouvelles dates directes pour la Grotte Cosquer". *International Newsletter on Rock Art* 15: 2-4.

CONARD, N.J. 2003. "Palaeolithic ivory sculptures from southwestern Germany and the origins of figurative art". *Nature* 426: 830-832.

CONARD, N.J., GROOTES, P.M. y SMITH, F.H. 2004. "Unexpectedly recent dates for human remains from Vogelherd". *Nature* 430: 198-201.

CRIADO BOADO, F. y PENEDO ROMERO, R. 1989. "Cazadores y salvajes: una contraposición entre el arte Paleolítico y el arte postglacial Levantino". *Munibe* 41: 3-22.

CRIADO BOADO, F. y PENEDO ROMERO, R. 1993. "Art, Time and Thought: A formal study comparing Palaeolithic and Postglacial Art". *World Archaeology* 25(2): 187-203.

CRUZ BERROCAL, M., GIL-CARLES ESTEBAN, J.M., GIL ESTEBAN, M. y MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I. 2005. "Martín Almagro Basch, Fernando Gil Carles y el Corpus de Arte Rupestre Levantino". *Trabajos de Prehistoria* 62 (1): 27-45.

CUADRAS AVELLANA, C.M. 1981. *Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona: Editorial Universitaria de Barcelona.

CUEZVA, S., SANCHEZ-MORAL, S., SAIZ-JIMENEZ, C. y CAÑAVÉRAS, J.C. 2009. "Microbial communities and associated mineral fabrics in Altamira Cave, Spain". *International Journal of Speleology* 38: 83-92.

CUNNINGHAM, K.I., NORTHUP, D.E., POLLASTRO, R.M., WRIGHT, W.G. y LAROCK, E.J. 1995. "Bacteria, fungi and biokarst in Lechuguilla Cave, Carlsbad Caverns National Park, New Mexico". *Environmental Geology* 25: 2-8.

DA CRUZ, D. 1995. "Cronología dos monumentos con tumulus do Noroeste peninsular e da Beira Alta". *Estudos Pre-históricos* 3: 81-119.

DANDRIDGE, D.E. y MEEN, J.K. 2007. "Rock art, lichens and geochemistry". *Coalition* 13: 2-4.

DE LEO, F. y URZÌ, C. 2003. "Fungal colonization in treated and untreated stone surfaces". En C. Saiz-Jimenez (ed.) *Molecular Biology and Cultural Heritage*: 213-218. Lisse: Balkema.

DE LOS RÍOS, A., GALVÁN, V. y ASCASO, C. 2004. "In situ microscopical diagnosis of biodeterioration processes at the convent of Santa Cruz

la Real, Segovia, Spain". *International Biodeterioration & Biodegradation* 54: 113-120.

DEL VALLE MELENDO, J. 1997. "Precipitaciones máximas en la Sierra de Guara y su entorno. Cálculo de valores para diferentes periodos de retorno". *Lucas Mallada* 9: 171-182.

DERPSCH, R. 2005. *Entender el proceso de la erosión y de la infiltración del agua en el suelo*. [en línea], <<http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>>, [consulta 11/07/2006].

DÍAZ-ANDREU, M., BROOKE, C., RAINSBURY, M. y ROSSER, N. 2006. "The spiral that vanished: the application of non-contact recording techniques to an elusive rock art motif at Castlerigg stone circle in Cumbria". *Journal of Archaeological Science* 33: 1580-1587.

DÍEZ HERRERO, A., LARIO GÓMEZ, J., GUTIÉRREZ PÉREZ, I., ALONSO AZCÁRATE, J., SÁNCHEZ MORAL, S. y CAÑAVERAS JIMÉNEZ, J.C. 2006. "Análisis de la insolación directa potencial como factor de degradación de los conjuntos pictóricos rupestres de Villar del Humo (Cuenca)". En A. Pérez Alberti y J. López Bedoya (eds.) *Geomorfología y territorio. Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología*: 993-1008. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.

DOBAT, K. 1977. "Zur ökogenese und ökologie der lampenflora deutscher schauhöhlen". En W. Frey (ed.) *Beiträge zur Biologie der niederen Pflanzen*: 177-215. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

DOBBINS, J.J. 1982. "A new method for the photographic recording of architectural cuttings and dressings". *American Journal of Archaeology* 86(4): 584-856.

DOMINGO, R., GUILLEM, P., MARTÍNEZ-VALLE, R. y SOPENA, M.C. (2004). «La documentación gráfica: un trabajo en equipo». En P. Utrilla y V. Villaverde (eds.) *Los grabados levantinos del Barranco Hondo (Castellote, Teruel)*: 27-35. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

DOMINGO SANZ, I. y LÓPEZ MONTALVO, E. 2002. "Metodología: el proceso de obtención de calcos o reproducciones". En R. Martínez Valle y V. Villaverde Bonilla (eds.) *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*: 75-81. Tirig: Museu de la Valltorta (Monografías del Instituto de Arte Rupestre 1).

DOMINGO SANZ, I., LÓPEZ MONTALVO, E., VILLAYERDE BONILLA, V. y MARTÍNEZ VALLE, R. 2007. *Los abrigos VII, VIII y IX de Les Coves de La Saltadora (Les Coves de Vinromà, Castelló)*. Valencia: Generalitat Valenciana (Monografías del Instituto de Arte Rupestre).

DOMINGO SANZ, I. 2005. *Técnica y ejecución de la figura en el arte rupestre levantino. Hacia una definición actualizada del concepto de estilo: validez y limitaciones*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.

DORNIEDEN, T., GORBUSHINA, A.A. y KRUMBEIN, W.E. 2000. "Biodecay of cultural heritage as a space/time related ecological situation – an evaluation of a series of studies". *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 261-270.

DUBAL, L. 1995. "Tactigraphy, a new method for recording prehistorical rock engravings". *International Newsletter on Rock Art* 10: 22-24.

DUBAL, L., LARREY, M. y MAFFESOSOLI, G.B. 1993. "La tactigraphie: une méthode innovatrice dans l'art de l'estampage ». En *Valcamonica Symposium 1993, 6-11 ottobre, Temù, Italia*, [en línea], <<http://larrey.monique.neuf.fr/vcs93.pdf>>, [consulta 10/11/2006].

EHRlich, H.L. 1981. *Geomicrobiology*. New York: Marcel Dekker.

FERNÁNDEZ LÓPEZ DE PABLO, J. 2005. "Perspectivas teórico-metodológicas en la contextualización del arte Levantino: historiografía y problemática actual". En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España mediterránea. Alicante, 25-28 de octubre de 2004*: 169-183. Alicante: Diputación de Alicante / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

FIGUEIREDO, S.S. 2009. "Anthropomorphic Figures in Post-Paleolithic Paintings from the Northeast of Portugal: Who Are They and What Doing?" *Global Rock Art: Congresso Internacional de Arte Rupestre, 2009, Piauí – Brasil, Resumos eletrônicos*. [en línea] <<http://www.globalrockart2009.ab-arterupestre.org.br/resumos/resumos24.html>> [consulta 21/08/09].

FITZPATRICK, E.A. 1985. *Suelos. Su formación, clasificación y distribución*. México: CECSA.

FORTEA PÉREZ, F.J. 1974. "Algunas aportaciones a los problemas del Arte Levantino". *Zephyrus* 25: 225-257.

FORTEA PÉREZ, F.J. 2000–2001. "Los comienzos del arte paleolítico en Asturias: aportaciones desde una arqueología contextual no postestilística". *Zephyrus* 53/54: 177-216.

FORTEA PÉREZ, F.J. 2002. "Trente-neuf dates C14-SMA pour l'art pariétal paléolithique des Asturies". *Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées* LVII: 7-28.

FORTEA PÉREZ, F.J. 2005. "Iberian Palaeolithic rock art". *Coalition* 10: 8-14.

FORTEA PÉREZ, F.J. 2008. "El arte rupestre paleolítico en la Península Ibérica". En *Actas de las Jornadas de Reflexión sobre la conservación de la Pintura Rupestre en Andalucía. Antequera, 18-20 de enero de 2007*. Sevilla: Junta de Andalucía (en prensa).

FORTEA PÉREZ, F.J., RODRÍGUEZ, V., HOYOS, M., FEDERACIÓN ASTURIANA DE ESPELEOLOGÍA, VALLADAS, H. y TORRES, T. 1995. "Covaciella". En *Excavaciones Arqueológicas en Asturias 1991–1994*: 258-270. Oviedo: Consejería de Cultura, Principado de Asturias.

FORTIN, D., FERRIS, F.G. y BEVERIDGE, T.J. 1997: "Surface-mediated mineral development by bacteria". En J.F. Banfield y K.H. Nealson (eds.) *Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals*: 161-180. Washington: Mineralogical Society of America.

FOSSATI, A. 1997. "Rupestrian archaeology". *Tracce* 6, [en línea], <<http://www.rupestre.net/tracce/ruparch.html>>, [consulta 02/08/2006].

FOSSATI, A. y ARCÀ, A. 1997. "Tracing the past. Petroglyph reproduction for rupestrian archaeology". *Tracce* 7, [en línea], <<http://www.rupestre.net/tracce/tracing.html>>, [consulta 03/08/2006].

FOYO, A., TOMILLO, C., SÁNCHEZ, M.A. y SUÁREZ, J.L. 2002. "Esquema geológico del entorno de la cueva de Altamira". En J.A. Lasheras (ed.) *Redescubrir Altamira*: 273-286. Madrid: Turner.

FRIEDMANN, I. 1955. "*Geitleria calcarea* n. gen. and n. sp." *Botaniska Notiser* 108: 439-445.

FRIEDMANN, E.I. 1982. "Endolithic microorganisms in the Antarctic cold desert". *Science* 215: 1045-1053.

FUSSELL, A. 1982. "Terrestrial photogrammetry in Archaeology". *World Archaeology* 14(2): 157-172.

GARATE, D., LAVAL, E. y MENU, M. 2004. "Étude de la matière colorante de la grotte d'Arenaza (Galdames, Pays Basque, Espagne)". *L'Anthropologie* 108: 251-28

GARCIA DE MIGUEL, J.M., SÁNCHEZ CASTILLO, L., ORTEGA CALVO, J.J., GIL, J.A. y SAIZ JIMÉNEZ, C. 1995. "Deterioration of building materials from the Great Jaguar pyramid at Tikal, Guatemala". *Building and Environment* 30: 591-598.

GARCÍA DíEZ, M., MARTÍN I UIXAN, J., MARTÍN MERINO, M.A. y ORTEGA MARTÍNEZ, A.I. 2003. "Dates for rock art. A Bronze Age sanctuary at the Galería del Sílex cave". *Antiquity* 77 (296), [en línea] <<http://antiquity.ac.uk/ProjGall/diez/diez.html>> [consulta: 18/04/2008].

GARCÍA GUINEA, M.A. 2004. *Altamira y otras cuevas de Cantabria*. Madrid: Sílex Ediciones.

GARCIA-ROWE, J. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1988. "Colonization of mosaics by lichens: the case study of Italica". *Studia Geobotanica* 8: 65-71.

GILLESPIE, A.R., KAHLE, A.B. y WALKER, R.E. 1986. "Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI contrast stretches". *Remote Sensing of Environment* 20: 209-235.

GILLESPIE, A.R., KAHLE, A.B. y WALKER, R.E. 1987. "Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques". *Remote Sensing of Environment* 22: 343-365.

GOLUBIC, S., FRIEDMANN, I. y SCHNEIDER, J. 1981. "The lithobiontic ecological niche, with special reference to microorganisms". *Journal of Sedimentary Petrology* 51: 475-478

GOMES, M.I. 2008. *Monitorização do crescimento de um biofilme fotossintético por análise de imagem*. Tesis de Master en Conservación y Restauración, Universidade Nova de Lisboa.

GOMES, M.I., ROGERIO-CANDELERIA, M.A., MILLER, A.Z., MACEDO, M.F., DIONÍSIO, A., LAIZ, L., y SAIZ-JIMENEZ C. 2008 a. "Análisis de imagen para la evaluación de la bioreceptividad de materiales utilizados en el Patrimonio Cultural". En C. Sáiz Jiménez y M.A. Rogerio Candelera (eds.) *Avances Recientes en la Investigación sobre Patrimonio. Libro de Resúmenes*: 81-82. Sevilla: Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural.

GOMES, M.I., ROGERIO-CANDELERIA, M.A., MILLER, A.Z., MACEDO, M.F y DIONÍSIO, A. 2008 b. "Image analysis as a tool for monitoring a biofilm growth on stone materials used in Cultural Heritage". *14ª Conferência Portuguesa de Reconhecimento de Padrões (RecPad 2008). Abstracts book*.

GÓMEZ BARRERA, J.A. 2006. "Grabados rupestres en el interior peninsular. Galería del Sílex, Cueva Maja y Sala de la Fuente como paradigmas de investigación". En J. Martínez García y M.S. Hernández Perez (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre Esquemático en la*

Península Ibérica. Comarca de Los Vélez, 5-7 de mayo 2004: 149-172. Almería.

GÓNGORA Y MARTÍNEZ, M. 1868. *Antigüedades prehistóricas de Andalucía*. Madrid: Moro.

GONZÁLEZ, R.C. y WINTZ, P. 1977. *Digital image processing*. Reading (USA): Addison & Wesley.

GONZÁLEZ, I., LAIZ, L., HERMOSIN, B., CABALLERO, B., INCERTI, C. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1999. "Microbial communities of the rock paintings of Atlanterra shelter (South Spain)". *Journal of Microbiological Methods* 36: 123-127.

GONZÁLEZ, A. y ALVARADO, M. 1993. "Nuevas pinturas rupestres en Extremadura. Pintura naturalista en el entramado esquemático de las Villuercas (Cáceres)". *Revista de Arqueología* 143: 18-25.

GONZÁLEZ SAINZ, C. 2005. "Actividad gráfica magdaleniense en la región cantábrica. Datación y modificaciones iconográficas". En N.F. Bicho (ed.) *O Paleolítico. Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular, 14 a 19 Setembro de 2004*: 157–181. Faro (Portugal).

GROTH, I., SCHUMANN, P., LAIZ, L., SANCHEZ-MORAL S., CAÑAVERAS, J.C. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2001. "Geomicrobiological study of the Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italy". *Geomicrobiology Journal* 18: 241-258.

GUILLAMET, E. 2000. "Intervencions de conservació-restauració en pintura rupestre". *Cota Zero* 16: 111-119.

GUILLITTE, O. 1995. "Bioreceptivity: A new concept for building ecology studies". *Science of the Total Environment* 167: 215-220.

GUILLITTE, O. y DREESEN, R. 1995. "Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials". *Science of the Total Environment* 167: 365-374.

GUINEAU, B. LORBLANCHET, M., GRATUZE, B., DULIN, L., ROGER, P., AKRICH, R. y MULLER, F. 2001. "Manganese black pigments in prehistoric paintings: the case for the black frieze of Pech Merle (France)". *Archaeometry* 43(2): 211-225.

HALL, K., LINDREN, B.S. y JACKSON, P. 2005. "Rock albedo and monitoring of thermal conditions in respect of weathering: some expected and some unexpected results". *Earth Surface Processes and Landforms* 30: 801-811.

HALL, K., MIKLEJOHN, I. y AROCENA, J. 2007. "The thermal responses of rock art pigments: Implications for rock art weathering in southern Africa". *Geomorphology* 91: 132-145.

HAMILTON, W.A. y CHARACKLIS, W.G. 1989. "Relative activities of cells in suspension and in biofilms". En W.G. Characklis y P.A. Wilderer (eds.) *Structure and Function of Biofilms*: 199-219. Chichester: John Wiley & Sons.

HEDDEN, M. 1958. "«Surface printing» as a means of recording petroglyphs". *American Antiquity* 23(4): 435-439.

HEMMLEB, M. 1999. "Digital rectification of historical images". En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*. [en línea] <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c806.pdf>> [consulta 30/10/2006].

HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. y CANALS, T. 1994. "*Herpyzonema pulverulentum* (Mastigocladaceae), a new cavernicolous atmophytic and lime-incrusted cyanophyte". *Archiv für Hydrobiologie, Supplement Algological Studies* 75: 123-136.

HERNANDEZ-MARINÉ, M., ASENCIO, A.D., CANALS, A., ARIÑO, X., ABOAL, M. y HOFFMANN, L. 1999. "Discovery of population of the lime-incrusting genus *Loriella* (Stigonematales) in Spanish caves". *Archiv für Hydrobiologie, Supplement Algological Studies* 94: 121-138.

HERNÁNDEZ PACHECO, E. 1924. *Las pinturas prehistóricas de las cuevas de La Araña (Valencia)*. Madrid: Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.

HERNÁNDEZ PACHECO, E. 1959. *Prehistoria del solar hispano*. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. y C.E.C. 1983. "Arte esquemático en el País Valenciano. Recientes aportaciones". *Zephyrus* XXXVI: 63-75.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S., FERRER MARSET, P. y CATALÁ FERRER, E. (eds.) 1988. *Arte rupestre en Alicante*. Alicante: Fundación Banco Exterior / Diputación de Alicante.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. 1995. "Grabados rupestres postpaleolíticos en el País Valenciano. Algunas consideraciones". *Extremadura Arqueológica* V: 27-37.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. 2000. "Continuïtat/discontinuitat a l'Art Rupestre de la façana oriental de la Península Ibèrica". *Cota Zero* 16: 65-84.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. y MARTÍ OLIVER, B. 2001. "El arte rupestre de la fachada mediterránea: entre la tradición epipaleolítica y la expansión neolítica". *Zephyrus* 53-54: 241-265.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. 2005. "Del alto Segura al Turia. Arte rupestre postpaleolítico en el Arco Mediterráneo". En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España mediterránea. Alicante, 25-28 de octubre de 2004*: 45-70. Alicante: Diputación de Alicante / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

HERNÁNDEZ PÉREZ, M.S. 2006. "Artes esquemáticos en la Península Ibérica: el paradigma de la pintura esquemática". En J. Martínez García y M.S. Hernández Pérez (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre Esquemático en la Península Ibérica. Comarca de Los Vélez, 5-7 de mayo 2004*: 13-31. Almería.

HERNANZ, A., MAS, M., GAVILÁN, B. y HERNÁNDEZ, B. 2006 a. "Raman microscopy and IR spectroscopy of prehistoric paintings from Los Murciélagos cave (Zuheros, Córdoba, Spain)". *Journal of Raman Spectroscopy* 37: 492-497.

HERNANZ, A., GAVIRA-VALLEJO, J.M. y RUIZ-LÓPEZ, J.F. 2006 b. "Introduction to Raman microscopy of prehistoric rock paintings of the Sierra de las Cuerdas, Cuenca, Spain". *Journal of Raman Spectroscopy* 37: 1054-1062.

HERNANZ, A., GAVIRA-VALLEJO, J.M., RUIZ-LÓPEZ, J.F. y EDWARDS, H.G.M. 2008. "A comprehensive micro-Raman spectroscopic study of prehistoric rock paintings from the Sierra de las Cuerdas, Cuenca, Spain". *Journal of Raman Spectroscopy* 39: 972-984.

HIRSCH, P., ECKARDT, F.E.W. y PALMER JR., R. 1995. "Fungi active in weathering of rock and stone monuments". *Canadian Journal of Botany* 73: 215-220.

HOLMES, A.J., TUJULA, N.A., HOLLEY, M., CONTOS, A., JAMES, J.M., ROGERS, P. y GILLINGS, M.R. 2001. "Phylogenetic structure of unusual aquatic microbial formations in Nullarbor caves, Australia". *Environmental Microbiology* 3: 256-264.

HOYOS, M., SOLER, V., y FORTEA, J. 1993. "La cueva de la Peña de Candamo (Asturias): primeros resultados microclimáticos". En J. Fortea (ed.) *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991*: 77-85. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.

HOYOS, M, CAÑAVERAS, J.C., SÁNCHEZ-MORAL, S., SANZ-RUBIO, E., BLANCO-VARELA, M.T., PUERTAS, F., PALOMO, A., SAIZ-JIMENEZ, C. y ARIÑO, X. 1996. *Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Peñas Cabrerías y Tajo de las Figuras*. Estudio diagnóstico de los conjuntos y yacimientos arqueológicos de la Comunidad Autónoma Andaluza en su contexto geomorfológico, biológico y

climático IV. Informe para la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

HOYOS, M., CAÑAVÉRAS, J.C., SÁNCHEZ-MORAL, S., SANZ-RUBIO, E., BLANCO-VARELA, M.T., PUERTAS, F., PALOMO, A., SAIZ-JIMENEZ, C. y ARIÑO, X. 1997. *Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Atlanterra y Alemanes (Cadiz) y de los Letreros (Almeria)*. Estudio diagnóstico de los conjuntos y yacimientos arqueológicos de la Comunidad Autónoma Andaluza en su contexto geomorfológico, biológico y climático V. Informe para la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

HOYOS, M., CAÑAVÉRAS, J.C., SÁNCHEZ-MORAL, S., SANZ-RUBIO, E., BLANCO-VARELA, M.T., PUERTAS, F., PALOMO, A., SAIZ-JIMENEZ, C. y ARIÑO, X. 1998. *Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Cueva de la Graja y Cueva del Encajero*. Estudio diagnóstico de los conjuntos y yacimientos arqueológicos de la Comunidad Autónoma Andaluza en su contexto geomorfológico, biológico y climático VI. Informe para la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

HOYOS, M., SOLER, V., CAÑAVÉRAS, J.C., SÁNCHEZ-MORAL, S. y SANZ-RUBIO, E. 1998. "Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain)". *Environmental Geology* 33: 231-242.

HOYOS, M., CAÑAVÉRAS, J.C., SÁNCHEZ-MORAL, S., SANZ-RUBIO, E., BLANCO-VARELA, M.T., PUERTAS, F., PALOMO, A., SAIZ-JIMENEZ, C. y ARIÑO, X. 1999. *Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de las cuevas de Los Murciélagos (Zuheros, Córdoba) y Doña Trinidad (Ardales, Málaga)*. Estudio diagnóstico de los conjuntos y yacimientos arqueológicos de la Comunidad Autónoma Andaluza en su contexto geomorfológico, biológico y climático VII. Informe para la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

HOTELLING, H. 1933. "Analysis of a complex of statistical variables into principal components". *Journal of Educational Psychology* 24: 417-441, 498-520.

HUECK, H.J. 1965. "The biodeterioration of materials as a part of hylobiology". *Material und Organismen* 1: 5-34.

HUECK, H.J. 1968. "The biodeterioration of materials – an appraisal". En A.H. Walters y J.J. Elphick (eds.) *Biodeterioration of Materials: Microbiological and allied aspects*: 6-12. Londres: Elsevier.

HUPPERT, G., BURRI, E., FORTI, P. y CIGNA, A. 1993. "Effects of toruist development on caves and karst". En P.W. Williams (ed.) *Karst terrains, environmental changes, human impact*: 251-268. Cremlingen: CATENA Supplement 25.

IAKOVLEVA, L. 2002. "Un essai de formalisation des études sur l'art paléolithique pour la connaissance des sociétés préhistoriques". *Archeologia e Calcolatori* 13: 31-40 (XIV Congress of the International Union of Prehistoric and Protohistoric Sciences [Liege – Belgium – September 2001]. Commission IV Data Management and Mathematical Methods in Archaeology. Proceedings of Symposia 1.3, 1.5, 1.8, 1.10)

IMPERI, F., CANEVA, G., CANCELLIERI, L., RICCI, M.A., SODO, A. y VISCA, P. 2007. "The bacterial aetiology of rosy discoloration of ancient wall paintings". *Environmental Microbiology* 9: 2894-2902.

INAGAKI, F., TAKAI, K., TETSUSHI, K., SAKIHAMA, Y., INOUE, A. y HORIKOSHI, K. 2002. "Profile of microbial community structure and presence of endolithic microorganisms inside a deep-sea rock". *Geomicrobiology Journal* 19: 535-552.

JOHNSTON, C.G. y VESTAL, J.R. 1993. "Biogeochemistry of oxalate in the Antarctic cryptoendolithic lichen-dominated community". *Microbial Ecology* 25: 305-319.

JOLY, F. 1988. *La cartografía*. Barcelona: Oikos-Tau.

JONES, D. 1988. "Lichens and pedogenesis". En M. Galun (ed.) *Handbook of Lichenology*: 109-124. Boca Raton: CRC Press.

JORDÁ PARDO, J.F. y AURA TORTOSA, J.E. 2008. "70 fechas para una cueva. Revisión crítica de 70 dataciones C¹⁴ del Pleistoceno Superior y Holoceno de la cueva de Nerja (Málaga, Andalucía, España)". *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Nueva época. Prehistoria y Arqueología* 1: 239-256.

JUDSON, S. 1959. "Palaeolithic paint". *Science* 130 (3377): 708.

KARRAS, G.E. y PETSIA, E. 1999. "Metric information from uncalibrated single images". En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c802.pdf>>, [consulta 10/10/2006]

KARRAS, G.E. y MAVROMMATI, D. 2001. "Simple calibration techniques for non-metric cameras". En *CIPA International Symposium "Surveying and documentation of historic buildings, monuments, sites - Traditional and modern methods", Potsdam, Germany, Sep. 18-21, 2001*, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-03-k01.pdf>>, [consulta 20/9/2006].

KEMMLING, A., KÄMPER, M., FLIES, C., SCHIEWECK, O. y HOPPERT, M. 2004. "Biofilms and extracellular matrices on geomaterials". *Environmental Geology* 46: 429-435.

KLEIN, C. y HURLBURT, C.S. 2003. *Manual de Mineralogía. Basado en la obra de J.D. Dana*, Cuarta Edición (vol. 2). Barcelona: Reverté.

KNIGHT, K.B., ST. CLAIR, L.L. y GARDNER, J.S. 2004. "Lichen biodeterioration at Inscription Rock, El Morro National monument, Ramah, New Mexico, USA". En L.L. St. Clair y M.R.D. Seaward (eds.) *Biodeterioration of stone surfaces. Lichens and biofilms as weathering agents of rocks and Cultural Heritage*: 129-163. Dordrecht (NL): Kluwer Academic.

KOESTLER, R., WARSCHIED, T. y NIETO, F. 1996. "Biodeterioration: Risk Factors and their Management". En N.S. Baer, y R. Snethlage (eds.) *Saving Our Architectural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures*: 25-35. Chichester: John Wiley & Sons.

KOLBER, J. 1997. "Scale drawings of the Vale de Vermelhosa engravings". *Tracce* 6, [en línea], <<http://www.rupestre.net/tracce/coatrac.html>>, [consulta 3/8/2006].

KORMONDY, E.J. 1969. *Concepts of ecology*. New Jersey: Prentice Hall.

KRUMBEIN, W.E. (ed.) 1983. *Microbial geochemistry*. Oxford: Blackwell.

KRUMBEIN, W.E. 1988. "Microbial interactions with mineral materials". En D.R. Houghton, R.N. Smith y H.O.W. Eggins (eds.) *Biodeterioration* 7: 78-100. Londres: Elsevier.

KUSKE, C.R., BARNS, S.M. y BUSCH, J.D. 1997. "Diverse uncultivated bacterial groups from soils of the arid southwestern United States that are present in many geographic regions". *Applied and Environmental Microbiology* 63(9): 3614-3621.

LAIZ, L., GROTH, I., GONZALEZ, I. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1999. "Microbiological study of the dripping waters in Altamira Cave (Santillana del Mar, Spain)". *Journal of Microbiological Methods* 36: 129-138.

LAIZ, L., GROTH, I., SCHUMANN, P., ZEZZA, F. FELSKE, A., HERMOSIN, B. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2000. "Microbiology of the stalactites from Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italy". *International Microbiology* 3: 25-30.

LAIZ, L., PIÑAR, G., LUBITZ, W. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2003. "The colonisation of building materials by microorganisms as revealed by culturing and molecular methods". En C. Saiz-Jimenez (ed.) *Molecular Biology and Cultural Heritage*: 23-28. Lisse: Balkema.

LANGECKER T.G., WILKENS, H. y PARZEFALL, J. 1996. "Studies on the trophic structure of an energy-rich Mexican cave (Cueva de las

Sardinas) containing sulfurous water". *Memories de Biospeologie* 23: 121-125.

LECHEVALIER, M.P. 1977. "Lipids in bacterial taxonomy —a taxonomist's view". *CRC Critical Reviews in Microbiology* 5: 109-210.

LEFÈVRE, M., LAPORTE, G. y BAUER, J. 1964. "Sur les microorganismes envahissant les peintures rupestres de la grotte préhistorique de Lascaux". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 258: 5116-5118.

LEY 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español.

LEY 7/1990, de 3 de julio, del Parlamento Vasco, de Patrimonio Cultural Vasco.

LEY 1/1991, de 3 de julio, del Parlamento Andaluz, de Patrimonio Histórico de Andalucía.

LEY 8/1995, de 30 de octubre, del Parlamento de Galicia, de Regulación del Patrimonio Cultural de Galicia.

LEY 14/2007, de 26 de noviembre, del Parlamento Andaluz, de Patrimonio Histórico de Andalucía.

LERMA, J.L. 2001. "Documentation and recovery of rupestrian paintings: an automatic approach". En *CIPA International Symposium "Surveying and documentation of historic buildings, monuments, sites - Traditional and modern methods"*, Potsdam, Germany, Sep. 18-21, 2001, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-09-jl02.pdf>>, [consulta: 20/9/2006].

LERMA, J.L., VILLAVARDE, V., GARCÍA, A. y CARDONA, J. 2006. "Close range photogrammetry and enhanced recording of Palaeolithic rock art". En H.-G. Maas y D. Schneider (eds.) *International Archives on Photogrammetry and Remote Sensing XXXVI, Part 5*: 147-154. Lemmer (NL): International Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

LEROI-GOURHAN, A. 1965. *Préhistoire de l'art occidental*. Paris: Lucien Mazenod.

LILLESAND, T.M. y KIEFER, R.W. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation. Fourth Edition*. Nueva York: John Wiley and sons.

LIU, X-J., JIANG, Y. y CHEN, F. 2005. "Fatty acid profile of the edible filamentous cyanobacterium *Nostoc flagelliforme* at different temperatures and developmental stages in liquid suspension culture". *Process Biochemistry* 40: 371-377.

LÓPEZ FERNÁNDEZ, O. y PEREIRA UZAL, J.M. s.f. *La reproducción de los grabados rupestres como un método de conservación y divulgación urgente. Una propuesta de estudio y utilización de diversos materiales*, [en línea] <http://usuarios.lycos.es/arqueo/conserva_restaura/art_2.htm>, [consulta 21/09/2006].

LÓPEZ MARTÍN, F., CABRERA MILLET, M. y CUADRAT PRATS, J.M. 2007. *Atlas climático de Aragón*. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

LÓPEZ MONTALVO, E. 2007. *Análisis interno del Arte Levantino: la composición y el espacio a partir de la sistematización del núcleo Valltorta-Gasulla*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.

LÓPEZ MONTALVO, E. y DOMINGO SANZ, I. 2005. "Nuevas tecnologías y restitución bidimensional de los paneles levantinos: primeros resultados y valoración crítica del método". En P. Arias Cabal, R. Ontañón Pendo, C. García-Moncó Piñeiro y L.C. Teira Mayolini (eds.) *Actas del III Congreso del Neolítico en la Península Ibérica. Santander, 5 a 8 de Octubre de 2003*: 719-728. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

LÓPEZ-MONTALVO, E. y DOMINGO SANZ, I. 2009. "Nuevas técnicas aplicadas a la documentación gráfica del arte levantino: valoración crítica del método tras una década de experimentación". En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.) *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso*.

Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008: 295-302. Valencia: Generalitat Valenciana.

LÓPEZ PAYER, M.G. y SORIA LERMA, M. 1991. "Análisis estilístico de los conjuntos del Canjorro de Peñarrubia, Doña Clotilde, Abrigo del Tío Campano y Selva Pascuala". *Espacio, Tiempo y Forma, serie I* IV: 219-239.

LORBLANCHET, M. 1993. "From style to dates". En M. Lorblanchet y P.G. Bahn (eds.) *Rock art studies: the Post-stylistic era or where do we go from here?*: 61-72. Oxford: Oxbow.

LORBLANCHET, M. 1995. *Les grottes ornées de la Préhistoire: nouveaux regards*. Paris: Errances.

LORBLANCHET, M., CACHIER, H. y VALLADAS, H. 1995. "Datation des chevaux ponctués de Pech-Merle". *International Newsletter on Rock Art* 12: 2-3.

LORBLANCHET, M. y BAHN, P.G. 1999. "Diez años después de la «era postestilística»: ¿Dónde estamos ahora?" En R. Cacho y N. Gálvez (eds.) *32.000 BP: Una odisea en el tiempo. Reflexiones sobre la definición cronológica del arte parietal paleolítico*. *Edades, Revista de Historia* 6: 115-121.

LOUGHLIN, W.P. 1991. "Principal component analysis for alteration mapping". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57: 1163-1169.

LOVELOCK, J.E. 1979. *Gaia. A new look at life on earth*. Oxford: Oxford University Press.

MALINOWSKI, E.R. y HOWERY, D.G. 1980. *Factor Analysis in Chemistry*. Nueva York: John Wiley & Sons.

MARGALEF, R. 1982. *Ecología*. Barcelona: Omega.

MARK, R. y BILLO, E. 1999. "A stitch in time: Digital panoramas and mosaics". En S.M. Freers (ed.) *American Indian Rock Art* 25: 155-168. Ridgecrest (CA): American Rock Art Research Association.

MARK, R. y BILLO, E. 2002. "Application of digital image enhancement in rock art recording". En F. Taboada y M. Strecker (eds.) *Actas de la Sección 1 del V Simposio Internacional de Arte Rupestre, Tarija, Sept. 2000*: 142-153. (Contribuciones al Estudio del Arte Rupestre Sudamericano 6).

MARK, R. y BILLO, E. 2006. "Computer-assisted photographic documentation of rock art". *Coalition* 11: 10-14.

MÁRQUEZ ALCÁNTARA, A.M. y SANCHIDRIÁN TORTI, J.L. 2005. "Esquemas entre tinieblas. Planteamientos sobre el fenómeno esquemático en la oscuridad". En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España mediterránea. Alicante, 25-28 de octubre de 2004*: 311-331. Alicante: Diputación de Alicante / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

MARTÍNEZ ARIAS, R. 1999. *El análisis multivariante en la investigación científica*. Madrid: La Muralla/Hespérides (Cuadernos de Estadística nº 1).

MARTÍNEZ BEA, M. 2004. "Un arte no tan levantino. Perduración ritual de los abrigos pintados: el ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel)". *Trabajos de Prehistoria* 61(2): 111-125.

MARTÍNEZ GARCÍA, J. 2002. "Arte rupestre postpaleolítico en la península Ibérica: una espiral a través del espacio y la temporalidad". En J.A. Lasheras (ed.) *Redescubrir Altamira*: 119-137. Madrid: Turner.

MARTÍNEZ GARCÍA, J. 2005. "Andalucía Oriental y la periferia sur del Arte Rupestre Levantino". En *Pintura Rupestre en Andalucía. Catálogo*: 8-35. Sevilla: Junta de Andalucía.

MARTÍNEZ VALLE, R. y VILLAVERDE BONILLA, V. (coords.) 2002. *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*. Tírig: Museu de la Valltorta (Monografías del Instituto de Arte Rupestre 1).

MARTÍNEZ VALLE, R. y GUILLEM CALATAYUD, P.M. 2005. "Arte rupestre de l'Alt Maestrat. Las cuencas de la Valltorta y de la Rambla Carbonera". En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España mediterránea. Alicante, 25-28 de octubre de 2004*: 71-88. Alicante: Diputación de Alicante / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

MAS CORNELLÀ, M. 2005. *La cueva del Tajo de las Figuras*. Madrid: UNED.

MAS CORNELLÀ, M. 2001. "Estructuras iconográficas e identificación de especies (secuencias iniciales y finales del arte postpaleolítico «esquemático»)". *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló* 22: 147-182.

MATEO SAURA, M.A. 1995. "Arte rupestre histórico de la Cueva del Esquilo". *Revista de Arqueología* 170: 9-13.

MATEO SAURA, M.A. 2000. "Las pinturas rupestres de la Cueva del Esquilo (Moratalla, Murcia)". *Memorias de Arqueología* 9 (1994): 65-80.

MATEO SAURA, M.A. 2001. "Arte Levantino *adversus* pintura esquemática. Puntos de encuentro y divergencias entre dos horizontes culturales de la prehistoria peninsular". *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló* 22: 183-211.

MATEO SAURA, M.A. 2002. "La llamada «fase pre-levantina» y la cronología del arte rupestre levantino. Una revisión crítica". *Trabajos de Prehistoria* 59 (1): 49-64.

MAURA, R. y CANTALEJO, P. 2004. "La metodología aplicada en la cueva de Ardales para la documentación del arte prehistórico". En *Sociedades recolectoras y primeros productores. Actas de las*

Jornadas Temáticas Andaluzas de Arqueología: 317-331. Sevilla: Junta de Andalucía.

MAURA, R. y CANTALEJO, P. 2005. "Procesos digitales aplicados a la reproducción gráfica del arte paleolítico". En J.L. Sanchidrián, A.M. Márquez y J.M. Fullola (eds.) *La Cuenca Mediterránea durante el Paleolítico Superior. 38.000 – 10.000 años. IV Simposio de Prehistoria Cueva de Nerja*: 396-405. Málaga: Fundación Cueva de Nerja.

MAWK, E.J. y ROWE, M.W. 1998. "Effect of water on Lower Pecos river rock paintings in Texas". *Rock Art Research* 15: 12-16.

MCNAMARA, C.J., PERRY IV, T.D., BEARCE, K.A., HERNANDEZ-DUQUE, G. y MITCHELL, R. 2006. "Epilithic and endolithic bacterial communities in limestone from a Maya archaeological site". *Microbial Ecology* 51: 51-64.

MELLADO, M.E, RODRÍGUEZ, P. y CAMIRUAGA, J. 2008. "Refinamiento en paralelo de mallas geométricas en 2D". *Innovación* 20(1): 40-51.

MENU, M. y WALTER, P. 1992. "Prehistoric cave painting PIXE analysis for the identification of paint «pots»". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 64: 547-552.

MILLER, A., DIONÍSIO, A. y MACEDO, M.F. 2006. "Primary bioreceptivity: A comparative study of different Portuguese lithotypes". *International Biodeterioration & Biodegradation* 57: 136-142.

MILLER, A.Z., LEAL, N., LAIZ, L., ROGERIO-CANDELER, M.A., SILVA, R.J.C., DIONÍSIO, A., MACEDO, M.F. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2010 a. "Primary bioreceptivity of limestones applied on Mediterranean Basin monuments". En M. Gómez-Heras (ed.) *Limestone in the Built Environment: Present Day Challenges for the Preservation of the Past*: 79-92. Londres: Geological Society of London Special Publications 331.

MILLER, A.Z., ROGERIO-CANDELER, M.A., LAIZ, L., WIERZCHOS, J., ASCASO, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M., MAURÍCIO, A.,

DIONÍSIO, A., MACEDO, M.F. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2010 b. "Laboratory-induced endolithic growth in calcarenites: biodeteriorating potential assessment". *Microbial Ecology* 60: 55-68.

MONEVA MONTERO, M.D. 1993. "Primeros sistemas de reproducción de Arte Rupestre en España". *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología* 6: 413-442.

MONJE ARENAS, L. 1992. *Curso de fotografía*, [en línea] <<http://www.difo.uah.es/curso/>>, [consulta 09/10/2006].

MONTERO RUIZ, I., RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L., VICENT GARCÍA, J.M. y CRUZ BERROCAL, M. 1998. "Técnicas digitales para la elaboración de calcos de arte rupestre". *Trabajos de Prehistoria* 55(1): 155-169.

MONTERO RUIZ, I., RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L., VICENT GARCÍA, J.M. y CRUZ BERROCAL, M. 2000. "Técnicas analíticas basadas en el proceso de imágenes digitales multiespectrales". *Arkeos - perspectivas em diálogo* 7: 13-34.

MONTES, R. y CABRERA, J.M. 1991-1992. "Estudio estratigráfico y componentes pictóricos del arte prehistórico de Murcia (Sureste de España)". *Anales de Prehistoria y Arqueología* 7-8: 69-74.

MONTES, R., MUÑOZ, E., LASHERAS, J.A., DE LAS HERAS, C., RASINES, P. y FATÁS, P. 2004. "The association between deer and ibex in early/middle Magdalenian Cave Art in the central sector of Cantabrian Spain: New discoveries and some interpretations". *Acts of the XXI Valcamonica Symposium*: 365-370. Pinerolo: Centro Camuno di Studi Preistorici.

MOORE, F., RASTMANESH, F., ASADI, H. y MODABERRI, S. 2008. "Mapping mineral alteration using principal-component analysis and matched filter processing in the Takab area, north-west Iran, from ASTER data". *International Journal of Remote Sensing* 29: 2851-2867.

MOURE, J.A. 1993. "Investigación y conservación". En J. Fortea (ed.) *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda*

hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991: 175-180. Oviedo: Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.

MOURE, J.A., GONZÁLEZ SAINZ, C., BERNALDO DE QUIRÓS, F. y CABRERA, V. 1996. "Dataciones absolutas de pigmentos en cuevas cantábricas: Altamira, El Castillo, Chimeneas y Las Monedas". En J.A. Moure (ed.) *El Hombre Fósil 80 años después. Volumen conmemorativo del 50 aniversario de la muerte de Hugo Obermaier*: 295-324. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

MOURE, J.A. y GONZÁLEZ SAINZ, C. 2000. "Cronología del Arte Paleolítico cantábrico: últimas aportaciones y estado actual de la cuestión". En *Actas del III Congreso de Arqueología Peninsular* t. II: 461-473. Vila Real (Portugal).

NOVOA ÁLVAREZ, P. 1995. "Nuevos aportes del arte rupestre gallego". *Revista de Arqueología* 168: 6-15.

OLIVER, M.J., VELTEN, J. y MISHLER, B.D. 2005. "Dessication tolerance in bryophytes: A reflection of the primitive strategy for plant survival in dehydration habitats". *Integrative and Comparative Biology* 45: 788-799.

ORTEGA-CALVO, J.J., HERNANDEZ-MARINE, M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1991 a. "Mechanical deterioration of building stones by cyanobacteria and algae". En H.W. Rossmore (ed.) *Biodeterioration and Biodegradation* 8: 392-394. Londres: Elsevier.

ORTEGA-CALVO, J.J., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1991 b. "Biodeterioration of building material by cyaobacteria and algae". *International Biodeterioration & Biodegradation* 28: 165-185.

ORTEGA-CALVO, J.J., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1993. "Cyanobacteria and algae on historic buildings and monuments". En K.L. Garg, N. Garg y K.G. Mukerji (eds.) *Recent Advances in Biodeterioration and Biodegradation*: 173-203. Calcuta: Naya Prokash.

ORTEGA-CALVO, J.J., ARIÑO, X., STAL, L. y SAIZ-JIMENEZ, C. 1994. "Cyanobacterial sulfate accumulation from a historic building black crust". *Geomicrobiology Journal* 12: 15-22.

PALMER, R.J., SIEBERT, J. y HIRSCH, P. 1991. "Biomass and organic acids in sandstone of a weathering building: production by bacterial and fungal isolates". *Microbial Ecology* 21: 253-266.

PASCUAL SANZ, F., MAÑERO GARCÍA, A., DE JOSÉ FERNÁNDEZ, J. y PIÑA PATÓN, B. 2002. "Topografía y fotogrametría de la cueva de Altamira". En J.A. Lasheras (ed.) *Redescubrir Altamira*: 259-271. Madrid: Turner.

PAŠIĆ, L., KOVČE, B., SKET, B y HERZOG-VELIKONJA, B. 2010. "Diversity of microbial communities colonizing the walls of a karstic cave in Slovenia". *FEMS Microbiology Ecology* (en prensa).

PEARSON, K. 1901. "On lines and planes of closest fit to systems of points in space". *Philosophical Magazine* 2: 559-572.

PECK, S.B. 1986. "Bacterial deposition of iron and manganese oxides in North American caves". *National Speleology Society Bulletin* 48: 26-30.

PEPE, C., CLOTTES, J., MENU, M., y WALTER, P. 1991. "Le liant des peintures paléolithiques ariégeoises". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série 2* 312 (2): 929-934.

PERALES GARCÍA, M.P. y PICAZO MILLÁN, J.V. 1998. "Las pinturas rupestres de «La Coquinera» (Obón, Teruel)". *Kalathos* 17: 7-45.

PEREIRA UZAL, J.M. y LÓPEZ FERNÁNDEZ, O. 2003. "Moldeo sobre materiales porosos: uso de siliconas e hidrocoloides como medio de protección. Propuestas para un moldeo seguro". *Restauración & Rehabilitación* 78: 56-59.

PETTITT, P. y PIKE, A. 2007. "Dating European Palaeolithic cave art: progress, prospects, problems". *Journal of Archaeological Method and Theory* 14(1): 27-47.

PICAZO MILLÁN, J.V. 1992. "Avance sobre el conjunto con pinturas rupestres de «La Coquinera» (Obón, Teruel)". En M.P. Utrilla (ed.) *Aragón - Litoral Mediterráneo. Intercambios culturales durante la Prehistoria. En homenaje a Juan Maluquer de Motes*: 455-465. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.

PICAZO MILLÁN, J.V., PERALES GARCÍA, M.P. y ANDREU, J. 1991 "Informe sobre las pinturas rupestres de la Coquinera (Obón, Teruel)". *Arqueología Aragonesa 1988-1989*: 19-24. Zaragoza: Diputación General de Aragón.

PIGEAUD, R., VALLADAS, H., ARNOLD, M. y CACHIER, H. 2003. "Deux dates carbone 14 en spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) pour une représentation pariétale de la grotte ornée Mayenne-Sciences (Thornigné-en-Charnie, Mayenne): émergence d'un art gravettien en France septentrionale?" *Comptes Rendues Palevol* 2: 161-168.

POHORECKY, Z.S. y JONES, T.E.H. 1967. "Recording rock paintings". *Man New Series* 2(2): 305-306.

PORTILLO, M.C. 2007. *Aplicación de técnicas moleculares basadas en ADN y ARN al estudio de la diversidad microbiana en la cueva de Altamira (Cantabria, España)*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.

PORTILLO, M.C., ROGERIO CANDELER, M.A., GONZALEZ, J.M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2008 a. "Estudios preliminares de la diversidad microbiana y análisis de imagen de las manifestaciones parietales en los abrigos de Fuente del Trucho y de Muriecho L (Colungo, Huesca)". En S. Rovira, M. Garcia-Heras, M. Gener e I. Montero (eds.) *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría*: 97-107. Madrid: CSIC.

PORTILLO, M.C., GONZALEZ, J.M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2008 b. "Metabolically active microbial communities of yellow and grey colonizations on the walls of Altamira Cave, Spain". *Journal of Applied Microbiology* 104: 681-691.

PORTILLO, M.C., SAIZ-JIMENEZ, C. y GONZALEZ, J.M. 2009 a. "Molecular characterization of total and metabolically active bacterial

communities of «white colonizations» in the Altamira Cave, Spain”. *Research in Microbiology* 160: 41-47.

PORTILLO, M.C., ALLOZA, R. y GONZALEZ, J.M. 2009 b. “Three different phototrophic microbial communities colonizing a single natural shelter containing prehistoric paintings”. *Science of the Total Environment* 407: 4876-4881.

PRINSLOO, L.C. 2007. “Rock hyraces: a cause of San rock art deterioration?”. *Journal of Raman Spectroscopy* 38: 496-503.

RADY, A.H. y BADR, H.M. 2003. “Keeping the quality of cow’s butter by γ -irradiation”. *Grasas y Aceites* 54(4): 410-418.

RAMADAN, T.M. y ONSI, H.M. 2003. “Use of ERS-2 SAR and Landsat TM images for geological mapping and mineral exploration of Sol Hamid area, South Eastern Desert, Egypt”. En *POLinSAR 2003. Workshop on applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry, Frascati, Italy, 14-16 January 2003*, ESA-ESRIN. [en línea] <<http://earth.esa.int/workshops/polinsar2003/participants/ramadan46/ramadan-30-1-2003.pdf>>, [consulta 04/08/2008].

RAMADAN, T.M., NASR, A.H. y MAHMOOD, A. 2006. “Integration of Radarsat-1 and Landsat TM images for mineral exploration in East Oweinat district, South Western Desert, Egypt”. En *ISPRS Commission VII Mid-term Symposium “Remote Sensing: from Pixels to Processes”, Enschede, The Netherlands, 8-11 May 2006*: 743-749.

RESANO, M., GARCÍA-RUÍZ, E., ALLOZA, R., MARZO, M.P., VANDENABEELE, P. y VANHAECKE, F. 2007. “Laser ablation-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry for the characterization of pigments in Prehistoric rock art”. *Analytical Chemistry* 79: 8947-8955.

REY, P. y SOTO, M.J. 1996. “Una metodología de estudio para petroglifos. Resultados en Laxe da Sartaña”. *Gallaecia* 14-15: 197-221.

RIP, M.R. 1983. "Digital recording and image processing of rock art by computer". *South African Archaeological Bulletin* 38: 77-79.

RIP, M.R. 1989. "Colour space transformations for the enhancement of rock art images by computer". *Rock Art Research* 6(1): 12-14.

RIPOLL PERELLÓ, E. 1961. *Los abrigos pintados de los alrededores de Santolea (Teruel)*. Barcelona: Instituto de Prehistoria y Arqueología, Diputación de Barcelona.

RIPOLL PERELLÓ, E. 1997. "Historiografía del arte prehistórico en la Península Ibérica: I, hasta 1914". *Espacio, tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología* 10: 89-127.

RIPOLL PERELLÓ, E. 2001. "El debate sobre la cronología del arte levantino". *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló* 22: 267-280.

ROGERIO-CANDELER, M.A. 2007. "Conservation of Rock Art: A brief overview". *COALITION* 13: 2.

ROGERIO-CANDELER, M.A. 2008. *Una propuesta no invasiva para la documentación integral del arte rupestre*. Sevilla: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC.

ROGERIO-CANDELER, M.A. 2009. "Análisis de imagen y documentación integral del arte rupestre: una propuesta de futuro". En R. Cruz-Auñón Briones y E. Ferrer Albelda (eds.). *Estudios de Prehistoria y Arqueología en homenaje a Pilar Acosta Martínez*: 171-185. Sevilla: Universidad de Sevilla.

ROGERIO-CANDELER, M.A. 2010 a. "Los sistemas tradicionales de documentación del arte rupestre. Una revisión de sus ventajas y limitaciones". *Actas de la IV Bienal de Restauración Monumental "25 años de restauración monumental (1975-2000)"*. Madrid: Academia del Patal (en prensa).

ROGERIO-CANDELER, M.A. 2010 b. "Análisis de imagen de paneles rupestres: mucho más que la elaboración de calcos digitales". *Sautuola* XIV: 423-436.

ROGERIO-CANDELER, M.A. y ÉLEZ VILLAR, J. 2010. "Elaboración de un nuevo calco del cáprido de la Sala de La Hoya (cueva de Altamira) mediante técnicas de análisis de imagen". *Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Teruel, octubre 2009, (en prensa).

ROGERIO-CANDELER, M.A., LAIZ, L. y SAIZ-JIMENEZ C. 2008 a. "Una experiencia de laboratorio para la separación de cubiertas en la documentación de pinturas rupestres y murales afectadas por biodeterioro". En C. Sáiz Jiménez y M.A. Rogerio Candelera (eds.) *Avances Recientes en la Investigación sobre Patrimonio. Libro de Resúmenes*: 71-72. Sevilla: Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural.

ROGERIO-CANDELER, M.A., LAIZ, L., SANCHEZ-MORAL, S., FERNANDEZ-CORTES, A., ELEZ, J. y SAIZ-JIMENEZ C. 2008 b. "Monitoring of biofilm growth in a Roman tomb by means of image analysis". En C. Urzì (ed.) *14th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium. Abstracts Book*.

ROGERIO-CANDELER, M.A., LAIZ, L., GONZÁLEZ, J.M. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2008 c. "Monitorización del crecimiento microbiano en una tumba romana mediante técnicas de teledetección". En S. Rovira, M. Garcia-Heras, M. Gener e I. Montero (eds.) *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría*: 593-600. Madrid: CSIC.

ROGERIO-CANDELER, M.A., MILLER, A.Z. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009 a. "Contribution of image analysis to the detection of endolithic microbial communities in limestones used in Cultural Heritage". *Coalition* 17: 12-14.

ROGERIO-CANDELER, M.A., VANHAECKE, F., RESANO, M., MARZO, P., PORCA, E., ALLOZA IZQUIERDO, R. y SÁIZ-JIMÉNEZ, C. 2009 b. "Combinación de análisis de imagen y técnicas analíticas para la distinción de diferentes fases en un panel rupestre (La Coquinera II, Obón,

Teruel)”. En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.) *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso. Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008*: 327-334. Valencia: Generalitat Valenciana.

ROGERIO-CANDELER, M.A., MILLER, A.Z., DIONÍSIO, A., MACEDO, M.F. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2010 a. “Detection of endolithic growth extent of cyanobacteria and algae in a porous limestone by image analysis”. *STONE: Newsletter on stone decay* 4 (en prensa).

ROGERIO-CANDELER, M.A., JURADO, V., LAIZ, L. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2010 b. “Image analysis of biodeterioration-affected rock and mural paintings”. En J.L. Ruvalcaba Sil, J. Reyes T. y A. Velázquez (coords.) *La Ciencia de Materiales y su impacto en Arqueología, vol. V*. México: Sociedad Mexicana de Ciencia de Materiales A.C. (en prensa).

ROGERIO-CANDELER, M.A., SOARES DE FIGUEIREDO, S., GUIMARÃES, P. y BAPTISTA, A.M. 2010 c. “Análisis de imagen de pinturas rupestres del yacimiento de Faia (Parque Arqueológico de Vila Nova de Foz Côa, Guarda, Portugal)”. *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Teruel, octubre 2009 (en prensa).

ROLDÁN, C. 2009. “Análisis de pigmentos en conjuntos de arte rupestre”. En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.) *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso. Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008*: 269-277. Valencia: Generalitat Valenciana.

ROLDÁN, C., MURCIA-MARCARÓS, S., FERRERO, J., VILLAVARDE, V., MARTÍNEZ, R., GUILLEM, P.M. y LÓPEZ, E. 2007. “Análisis «in situ» de pinturas rupestres levantinas mediante EDXRF”. En J. Molera, J. Farjas, P. Roura y T. Pradell (eds.) *Actas del IV Congreso Ibérico de Arqueometría*: 203-210. Girona.

ROLDÁN, M. y HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. 2009. "Exploring the secrets of the three-dimensional architecture of phototrophic biofilms in caves". *International Journal of Speleology* 38: 41-53.

RUBIO, M. 1995. "Aproximación al estudio de las figuras zoomorfas representadas en el Arte Rupestre Levantino". *Recerques del Museu d'Alcoi* 4: 103-119.

RUIZ, L.A. 1994. *Introducción al tratamiento digital de imágenes*. Valencia: Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica.

RUIZ, J.F. 2006. *Las pinturas rupestres en la Serranía de Cuenca. Análisis, revisión y crítica del concepto de estilo en las manifestaciones plásticas postpaleolíticas*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia.

RUIZ, J.F., MAS, M., HERNANZ, A., ROWE, M.W., STEELMAN, J. y GAVIRA, J.M. 2006. "First radiocarbon dating of oxalate crusts over Spanish prehistoric rock art". *International Newsletter on Rock Art* 46: 1-5.

SABINS, F.F. 1987. *Remote sensing. Principles and interpretation. Second Edition*. Nueva York: W.H. Freeman and Company.

SAIZ-JIMENEZ, C. 1981. *Estudio de las causas del deterioro de los murales de Daniel Vázquez Díaz, Monasterio de Santa maría de La Rábida, Huelva*. Informe científico no publicado, 145 pp.

SAIZ-JIMENEZ, C. 1982. "Causas del deterioro de los murales de Daniel Vázquez Díaz, Monasterio de Santa María de la Rábida, Huelva". *Mundo Científico* 18: 1007-1011.

SAIZ-JIMENEZ, C. 1988. "Informe sobre la piedra y su tratamiento". En A. Jiménez y J.M. Cabeza (eds.) *"Turris Fortissima". Documentos sobre la construcción, acrecentamiento y restauración de la Giralda*: 135-144. Sevilla: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.

SAIZ-JIMENEZ, C. 1994. "Biodeterioration of stone in historic buildings and monuments". En G.C. Llewellyn, W.V. Dashek y C.E. O'Rear (eds.) *Biodeterioration Research 4*: 587-604. Nueva York: Plenum Press.

SAIZ-JIMENEZ, C. 1995. "Microbial melanins in stone monuments". *Science of the Total Environment* 167: 273-286.

SAIZ-JIMENEZ, C. 1997. "Biodeterioration vs Biodegradation: the role of microorganisms in the removal of pollutants deposited on historic buildings". *International Biodeterioration & Biodegradation* 40: 225-232.

SAIZ-JIMENEZ, C. 2009. "El papel de los microorganismos en las cuevas con pinturas rupestres". En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.) *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso. Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008*: 279-287. Valencia: Generalitat Valenciana.

SAIZ-JIMENEZ, C. y ARIÑO, X. 2000. "Colonización biológica y deterioro de morteros por organismos fotótrofos". En H.H. Videla (ed.) *Biodeterioro de monumentos históricos de Iberoamérica*: 58-71. La Plata (Argentina): CYTED.

SAIZ-JIMENEZ, C. y GONZÁLEZ GRAU, J.M. 2008. "Microbiología y Patrimonio Cultural". En C. Saiz-Jimenez y M.A. Rogerio Candelera (eds.) *La Investigación sobre Patrimonio Cultural*: 197-215. Sevilla: Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural.

SAIZ-JIMENEZ, C. y HERMOSIN, B. 1999. "Thermally assisted hydrolysis and methylation of the black deposit coating the ceiling and walls of Cueva del Encajero, Quesada, Spain". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 49: 349-357.

SAIZ-JIMENEZ, C. y SAMSON, R.A. 1981. "Biodegradación de monumentos. Hongos implicados en la degradación de los frescos de Vázquez Díaz, Monasterio de la Rábida, Huelva". *Botánica Macaronésica* 2-9: 255-264.

SAIZ-JIMENEZ, C., GARCIA-ROWE, J., GARCIA DEL CURA, M.A. ROEKENS, E. y VAN GRIEKEN, R. 1990. "Endolithic cianobacteria in Maastricht limestone". *The Science of the Total Environment* 94: 209-220.

SALVADORI, O. 2000. "Characterization of endolithic communities of stone monuments and natural outcrops". En O. Ciferri, P. Tiano y G. Mastromei (eds.) *Of Microbes and Art – The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*: 89-101. Nueva York: Kluwer Academic.

SANCHES, M.J. 2003. "Sobre a ocupação do Neolítico inicial no Norte de Portugal". En V.S. Gonçalves (ed.) "Muita Gente, Poucas Antas? Origens, Espaços e Contextos do Megalitismo (Actas do II Colóquio Internacional sobre Megalitismo)". *Trabalhos de Arqueologia* 25: 155-179.

SÁNCHEZ-MORAL, S., SOLER, V., CAÑAVERAS, J.C., SANZ RUBIO, E., VAN GRIEKEN, R. y GYSELLS, K. 1999. "Inorganic deterioration affecting Altamira Cave. Quantitative approach to wall-corrosion (solutional etching) processes induced by visitors". *The Science of the Total Environment* 243: 67-84

SÁNCHEZ-MORAL, S., SOLER, V. y CAÑAVERAS, J.C. 2000. "Caracterización microambiental en sistemas kársticos someros (Cueva de Altamira, Cantabria)". *Geotemas* 1(3): 345-350.

SANCHEZ-MORAL, S., SOLER, V., BEDOYA, J. y CAÑAVERAS, J.C. 2002 a. "Monitorización en continuo de parámetros microambientales en sistemas kársticos someros. Aplicación a la conservación del arte prehistórico (Cueva de Altamira, España)". En C. Sáiz Jiménez y H.A. Videla (eds.) *Biodeterioro de monumentos de Iberoamérica*: 109-123. Sevilla: CYTED.

SÁNCHEZ-MORAL, S., CAÑAVERAS, J.C., SOLER, V., SAIZ-JIMENEZ, C., BEDOYA, J. y LARIO, J. 2002 b. "La conservación del monumento". En J.A. Lasheras (ed.) *Redescubrir Altamira*: 245-257. Madrid: Turner.

SÁNCHEZ MORAL, S., CAÑAVERAS, J.C., LAIZ, L., SAIZ-JIMENEZ, C., BEDOYA, J. y LUQUE, L. 2003. "Biomediated precipitation of calcium carbonate metastable phases in hypogean environments. A short review". *Geomicrobiology Journal* 20: 491-500.

SÁNCHEZ-MORAL, S., LUQUE, L., CAÑAVERAS, J.C., LAIZ, L., JURADO, V., HERMOSIN, B. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2004. "Bioinduced barium precipitation in St. Callixtus and Domitilla catacombs". *Annals of Microbiology* 54(1): 1-12.

SÁNCHEZ-MORAL, S., CUEZVA, S., FERNÁNDEZ-CORTÉS, A. y CAÑAVERAS, J.C. 2008. "Geología-Geoquímica-Microclima aplicados a la conservación del Patrimonio". En C. Saiz-Jimenez y M.A. Rogerio-Candelera (eds.) *La investigación sobre Patrimonio Cultural*: 240-256. Sevilla: Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural.

SÁNCHEZ-MORAL, S., CUEZVA, S., FERNÁNDEZ-CORTÉS, A., JANICES, I., BENAVENTE, D., CAÑAVERAS, J.C., ÉLEZ, J., GONZÁLEZ, J.M., JURADO, V., LAIZ, L., PORTILLO, M.C., ROGERIO-CANDELERIA, M.A. y SAIZ-JIMENEZ, C. 2009. *Estudio integral del estado de conservación de la Cueva de Altamira y sus representaciones artísticas paleolíticas. Perspectivas futuras de conservación*. Informe para el Ministerio de Cultura, 397 pp.

SANCHIDRIÁN TORTI, J.L. 1987. "Reproducción del arte rupestre". En *Arte rupestre en España*: 123-125. Madrid: Zugarto (Monografías de Revista de Arqueología).

SANCHIDRIÁN TORTI, J.L. 2001. *Manual de arte prehistórico*. Barcelona: Ariel.

SANCHIDRIÁN TORTI, J.L., MARQUEZ, A.M., VALLADAS, H. y TISNERAT, N. 2001. "Dates directes pour l'art rupestre d'Andalousie". *International Newsletter on Rock Art* 29: 15-19.

SANCHIDRIÁN TORTI, J.L. y VALLADAS, H. 2001. "Dataciones numéricas del arte rupestre de la Cueva de la Pileta (Málaga, Andalucía)". *Panel* 1: 104-105.

SANZ DE SAUTUOLA, M. 1880. *Breves apuntes sobre algunos objetos prehistóricos de la provincia de Santander*. Santander.

SARBU, S.M., KANE, T.C. y KINKLE, B.K. 1996. "A chemoautotrophically based cave ecosystem". *Science* 272: 1953-1955.

SCHABEREITER-GURTNER, C., SAIZ-JIMENEZ, C., PIÑAR, G., LUBITZ, W. y RÖLLEKE, S. 2002 a. "Altamira cave Paleolithic paintings harbor partly unknown bacterial communities". *FEMS Microbiology Letters* 211: 7-11.

SCHABEREITER-GURTNER, C., SAIZ-JIMENEZ, C., PIÑAR, G., LUBITZ, W. y RÖLLEKE, S. 2002 b. "Phylogenetic 16S rRNA analysis reveals the presence of complex and partly unknown bacterial communities in Tito Bustillo cave, Spain, and on its Palaeolithic paintings". *Environmental Microbiology* 4: 392-400.

SCHOONRAAD, M. 1968. "Recording rock painting". *Man New Series* 3(2): 315-316.

SCHUHR, W. y KANNGIESER, E. 1999. "Single images in conservation". En *XVII CIPA International Symposium. Olinda, Brasil, 3-6 Octubre 1999*, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c803.pdf>>, [consulta 10/10/2006].

SCHUHR, W. y KANNGIESER, E. 2001. "Modern methods for using single images in conservation". En *XVIII CIPA International Symposium. Potsdam, Germany*, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-13-ws01.pdf>>, [consulta 30/10/2006].

SCHUHR, W. y KANNGIESER, E. 2003. "New perspectives for single images in conservation". En *XIX CIPA International Symposium "New perspectives to save Cultural Heritage", 30 Sep-04 Oct 2003. Antalya, Turkey*, [en línea], <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/antalya/62.pdf>>, [consulta 28/10/2006].

SEOANE VEIGA, Y. 2005 a. "Documentación y reproducción en el arte rupestre gallego". En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España Mediterránea. Alicante, 25-28 de Octubre de 2004*: 411-419. Alicante: Instituto Alicantino de Cultura "Juan Gil Albert" / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

SEOANE VEIGA, Y. 2005 b. "Metodología de reproducción de grabados rupestres en Galicia". *Cuadernos de Estudios Gallegos* LII(118): 81-115.

SHENNAN, S. 1992. *Arqueología cuantitativa*. Barcelona: Crítica.

SHERRATT, A. 1981. "Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolution". En I. Hodder, G. Isaac y N. Hammond (eds.) *Pattern of the Past: Studies in honour of David Clarke*: 261-305. Cambridge: Cambridge University Press.

SILVA, B. y PRIETO, B. 2004. "Deteriorative effects of lichens on granite monuments". En L.L. St. Clair y M.R.D. Seaward (eds.) *Biodeterioration of stone surfaces. Lichens and biofilms as weathering agents of rocks and Cultural Heritage*: 69-77. Dordrecht (NL): Kluwer Academic.

SIMÓN VALLEJO, M.D., CORTÉS SÁNCHEZ, M., NAVARRETE RODRÍGUEZ, I., NAVARRO PALACIOS, V., FINLAYSON, C., GILES PACHECO, F. y RODRÍGUEZ VIDAL, J. 2005 a. "GI.R.A. Project. Prospección y estudio de las manifestaciones artísticas prehistóricas de Gibraltar". En M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.) *Actas del Congreso de arte rupestre en la España mediterránea, Alicante, 25-28 de octubre de 2004*: 277-284. Alicante: Instituto Alicantino de Cultura "Juan Gil Albert" / Caja de Ahorros del Mediterráneo.

SIMÓN VALLEJO, M.D., CORTÉS SÁNCHEZ, M., NAVARRETE RODRÍGUEZ, I., NAVARRO PALACIOS, V., FINLAYSON, C., GILES PACHECO, F. y RODRÍGUEZ VIDAL, J. 2005 b. "St. Michael's Cave. Primeros resultados de la prospección y estudio de las manifestaciones artísticas prehistóricas de Gibraltar (GI.R.A. project)". En J.L. Sanchidrián, A.M. Márquez y J.M. Fullola

(eds.) *La Cuenca Mediterránea durante el Paleolítico Superior. 38.000 – 10.000 años. IV Simposio de Prehistoria Cueva de Nerja*: 108-116. Málaga: Fundación Cueva de Nerja.

SMITH, D.C., BOUCHARD, M. y LORBLANCHET, M. 1999. "An initial Raman microscopic investigation of prehistoric rock art in caves of the Quercy district, S.W. France". *Journal of Raman Spectroscopy* 30: 347-354.

SOLÍS DELGADO, M. 2009. "Métodos digitales para la restauración-reconstrucción virtual aplicada al estudio del arte rupestre". En J.A. López Mira, R. Martínez Valle y C. Matamoros de Villa (eds.) *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso. Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008*: 343-349. Valencia: Generalitat Valenciana.

SORIA LERMA, M., LÓPEZ PAYER, M.G., VALLEJO, M. y PEÑA, J. 1987. *Arte rupestre y hallazgos arqueológicos en Quesada (Jaén)*. La Carolina: Grupo de Estudios Prehistóricos (Serie Monográfica nº 5).

SPADES, S. y RUSS, J. 2005. "GC-MS analysis of lipids in prehistoric rock paints and associate oxalate coatings from the lower Pecos region, Texas". *Archaeometry* 47: 115-126.

ST. CLAIR, L.L. y SEAWARD, M.R.D. 2004. "Biodeterioration of rock substrata by lichens: progress and problems". En L.L. St. Clair y M.R.D. Seaward (eds.) *Biodeterioration of stone surfaces. Lichens and biofilms as weathering agents of rocks and Cultural Heritage*: 1-8. Dordrecht (NL): Kluwer Academic.

SUGITA, T., KIKUCHI, K., MAKIMURA, K., URATA, K., SOMEYA, T., KAMEI, K., NIIMI, M. y UEHARA, Y. 2005. "*Trichosporon* species isolated from guano samples obtained from bat-inhabited caves in Japan". *Applied and Environmental Microbiology* 71: 7626-7629.

SWARTZ JR., B.K. 1963. "Aluminium powder: A technique for photographically recording petroglyphs". *American Antiquity* 28(3):

400-401.

TANGESTANI, M.H. y MOORE, F. 2002. "Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran". *International Journal of Remote Sensing* 23: 4815-4825.

TANUMS HÄLLRISTNINGSMUSEUM s.f. *Documentation and Registration of Rock Art*. [en línea], <http://www.rockartscandinavia.se/pdf/Dokreg_eng_ID_2.pdf>, [consulta 02/08/2006].

TAYLOR, G.R. 2000. "Mineral and lithology mapping of drill core pulps using visible and infrared spectrometry". *Natural Resources Research* 9: 257-268.

TEIRA, L.C. y ONTAÑÓN, R. 2003. "Use of CAD techniques for the study of prehistoric art". En *45th Annual congress on the occasion of the centenary of El Castillo (1903-2003), Santander, april 2, Santander*.

THORNBUSH, M. y VILES, H. 2004 a. "Surface soiling pattern detected by integrated photography and image processing on exposed limestone in Oxford, England". En C. Saiz-Jimenez (ed.) *Air Pollution and Cultural Heritage*: 221-224. Lisse: Balkema.

THORNBUSH, M. y VILES, H. 2004 b. "Integrated digital photography and image processing for the quantification of colouration on soiled limestone surfaces in Oxford, England". *Journal of Cultural Heritage* 5: 285-290.

TIANO, P., ACCOLLA, P. y TOMASELLI, L. 1995. "Phototrophic biodeteriogens on lithoid surfaces: an ecological study". *Microbial Ecology* 29: 299-309.

TOMASELLI, L., LAMENTI, G., BOSCO, M. y TIANO, P. 2000. "Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments". *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 251-258.

TRICART, J. 1981. *La Tierra, planeta viviente*. Madrid: Akal.

TURPIN, S.A., WATSON, R.P., DENNET, S. y MUESSIG, H. 1979. "Stereophotogrammetric documentation of exposed archaeological features". *Journal of Field Archaeology* 6(3): 329-337.

UTRILLA, P. y BALDELLOU, V. 2001-2002. "Cantos pintados neolíticos en la Cueva de Chaves (Bastarás, Huesca)". *Salduie* 2: 45-126.

UTRILLA, P. y VILLAVERDE, V. (eds.) 2004. *Los grabados levantinos del Barranco Hondo, Castellote (Teruel)*. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

VALLADAS, H., CACHIER, H., MAURICE, P., BERNALDO DE QUIRÓS, F., CLOTTES, J., CABRERA, V., UZQUIANO, P. y ARNOLD, M. 1992. "Direct radiocarbon dates for prehistoric paintings at the Altamira, El Castillo and Niaux caves". *Nature* 357: 68-70.

VALLADAS, H., TISNERAT, N., ARNOLD, M., EVIN, J. y OBERLIN, C. 2001. "Les dates des fréquentations". En J. Clottes (ed.) *La grotte Chauvet. L'Art des origines*: 32-33. Paris: Éditions du Seuil.

VICENT GARCÍA, J.M., MONTERO RUÍZ, I., RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L., MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I. y CHAPA BRUNET, T. 1996. "Aplicación de la imagen multispectral al estudio y conservación del arte rupestre postpaleolítico". *Trabajos de Prehistoria* 53(2): 19-35.

VIGNAUD, C., SALOMON, H., CHALMIN, E., GENESTE, J-M. y MENU, M. 2006. "Le groupe des «bisons adossés» de Lascaux. Étude de la technique de l'artiste par analyse des pigments". *L'Anthropologie* 110: 482-499.

VILLAVERDE BONILLA, V. 1990. "Animation et scènes sus les plaquettes du Parpalló (Gandía, Espagne), quelques considérations sur la pictographie dans l'art mobilier". En *L'Art des Objects au Paleolithique*: 227-243. Paris: Actes des colloques de la Direction du Patrimoine.

VILLAVERDE BONILLA, V. 2007. "Formas de documentação na arte rupestre levantina". *Fundamentos* V: 151-158.

VIÑAS, R., SARRIÁ, E. y MONZONIS, F. 1979. "Nuevas representaciones de arte rupestre en el Maestrazgo". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de Castellón* 6: 97-120.

WAINWRIGHT, I.N.M. 1990. "Rock painting and petroglyph recording projects in Canada". *APT Bulletin* XXII(1/2): 55-84.

WALKER, J.J., SPEAR, J.R., y PACE, N.R. 2005 "Geobiology of a microbial endolithic community in the Yellowstone geothermal environment". *Nature* 434: 1011-1014.

WARSHEID, T. y BRAAMS, J. 2000. "Biodeterioration of stone: a review". *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 343-368.

WEISS, T., SIEGESMUND, S., KIRCHNER, D. y SIPPEL, J. 2004. "Insolation weathering and hygric dilatation: two competitive factors in stone degradation". *Environmental Geology* 46: 402-413.

WILDERER, P.A. y CHARACKLIS, W.G. 1989. "Structure and function of biofilms". En W.G. Characklis y P.A. Wilderer (eds.) *Structure and Function of Biofilms*: 5-17. Chichester: Wiley.

WILLCOX, A.R. (1967). "Recording rock paintings". *Man New Series* 2(4): 629-630.

ZHANG, X., PAZNER, M. y DUKE, N. 2007. "Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California)". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 62: 271-282.

ZHANG, Y., YANG, J. y YAO, F. 2007. "The potentials of multi-spectral remote sensing techniques for mineral prognostication – Taking Mongolian Oyu Tolgoi Cu-Au deposit as an example". *Earth Science Frontiers* 14: 63-70.